

5-й ФОРУМ ТЕТ

www.kai5.ru

KAI

МОЛОДЕЖНЫЙ КОММЕРЧЕСКИЙ ЦЕНТР «АЭЛИТА»

КОРОТКОВОЛНОВЫЕ АНТЕННЫ
С ВЕРТИКАЛЬНОЙ
ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Научно-техническое пособие

ЧАСТЬ I

Харьков

Редакционно-издательский отдел
облполиграфиздата

1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Хорошая антенна — лучший усилитель высокой частоты. Это правило было хорошо известно еще в те времена, когда радиолюбительство только начинало развиваться. Но и сегодня это высказывание не потеряло своей актуальности. Однако, если раньше антенная техника находилась в компетенции небольшого круга специалистов — ученых и инженеров, то теперь эти знания необходимы, в общих чертах, каждому человеку, интересующемуся антеннами.

Количество любительских радиостанций во всем мире достигло двух миллионов и продолжает расти. Поэтому с каждым годом становится все труднее дозваться, а то и услышать редкого корреспондента из дальней страны. Путь преодоления этих трудностей только один — улучшить свое антенное «хозяйство».

Проблема последнего десятилетия — сильные взаимные помехи в радиолюбительском эфире, так как не все понимают, что успех в проведении радиосвязи прежде всего зависит от антенны, мастерства оператора, а затем уже от мощности передатчика, которая должна быть соблюдена согласно имеющейся лицензии.

С учетом всего сказанного выше, составители предлагают описание практических конструкций, которые не были ранее опубликованы в советских изданиях. Этим выпуском мы начинаем серию рекомендаций по изготовлению радиолюбительских антенн и надеемся, что это поможет вам сделать правильный выбор, исходя из имеющихся условий, для успешной работы в эфире. Последующие два сборника будут посвящены направленным вращающимся антеннам и системам проволочных антенн.

Составители выражают благодарность мастеру спорта СССР Ю. А. Петрову за практические советы и рекомендации.

Мы также будем благодарны за ваши отзывы и пожелания, которые обязательно будут учтены.

ЖЕЛАЕМ ВАМ УСПЕХОВ. 73!

АНТЕННЫ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Глава I

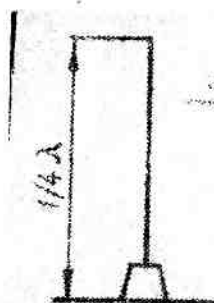
В основу теории и практики работы антенны с вертикальной поляризацией, приведенных в этой книге, положено существование электрического феномена — мнимого зеркального отражения, которое появляется в земле («естественной» или «искусственной») в момент передачи приема сигнала. В качестве простого объяснения эффекта отражения можно привести такой пример: если в зеркало направить луч электрического фонаря, то кажется, что свет исходит из самого зеркала. И чем лучше качество зеркала, тем сильнее свет, отражающийся от него. В данном случае отражение имеет электрический характер, где земля выполняет функции зеркала, и ее электрическая проводимость определяет силу зеркального отражения сигнала. Другими словами — эффективность работы антенны.

Чаще всего антенны с вертикальной поляризацией представляют собой вибратор, расположенный перпендикулярно к поверхности земли. Такая антенна имеет круговую диаграмму направленности и излучает под малыми углами к горизонту, независимо от высоты ее установки над землей. Преимущество излучения сигналов под малыми углами по отношению к горизонту объясняется тем, что «точка» отражения сигнала от ионизированного слоя атмосферы (ионосферы) находится дальше от места расположения передатчика, и отраженная волна придет к поверхности земли на большем расстоянии. Следовательно, сигнал к дальнему корреспонденту придет за меньшее количество отражений (скачков), менее ослабленный поглощающими свойствами земли и ионосферы.

Эти преимущества особенно проявляются на низкочастотных диапазонах, где для достижения подобных результатов антенну с горизонтальной поляризацией (диполь, например) необходимо поднимать на большую высоту (половину длины волны, как минимум).

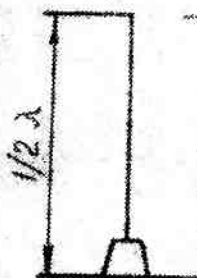
Обычно размеры вертикального вибратора (вертикала) выбираются $1/4$, $1/2$ или $5/8$ длины волны (λ). Чаще всего радиолюбители используют четвертьволновые вертикалы, имеющие меньшие размеры и не требующие дополнительного согласования с линией питания, которая представляет собой коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом.

Вертикалы длиной $1/2$ и $5/8 \lambda$, которые имеют больший коэффициент усиления, устанавливаются при наличии места для размещения дополнительных растяжек (креплений) и возможности установки элементов согласования у основания антенны.



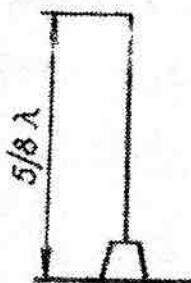
Четвертьволновый вертикал

Осциллоид состоит из согласующего устройства у основания антенны



Полуволновый вертикал

Осциллоид состоит из согласующего устройства у основания антенны. Коэффициент усиления 3 дБ по отношению к четвертьволновому вертикалу



Вертикал $5/8 \lambda$

Осциллоид состоит из согласующего устройства у основания антенны. Имеет усиление 3 дБ по отношению к четвертьволновому вертикалу

Широкое распространение получили и укороченные вертикалы — $1/8$ и $1/16 \lambda$. Однако в каждом случае применения укороченных вертикальных антенн следует принимать во внимание следующее: чем короче вертикал, тем меньше его сопротивление излучения. Так, для четвертьволнового вертикала сопротивление излучения составляет 36 Ом. Для вертикала длиной $1/8 \lambda$ оно составит уже 9 Ом, а для вертикала $1/16 \lambda$ — около 3 Ом т. е. сопротивление излучения вертикала с уменьшением длины падает квадратично.

Активная часть входного сопротивления антенны состоит в свою очередь из двух составляющих: сопротивления излучения $R_{изл}$ и сопротивления потерь R_n . Их связывает равенство:

$$R_{вх} = R_{изл} + R_n$$

Соотношение $R_{изл}$ и R_n определяет коэффициент полезного действия антенны:

$$\eta = \frac{R_{изл}}{R_{изл} + R_n}$$

При использовании вертикальных антенн основной вклад в сопротивление потерь вносит система заземления. R_n для системы заземления из 120 радиальных противовесов длиной $1/4 \lambda$, лежащих на земле, составляет примерно 5 Ом. Менее разветвленная система противовеса может иметь R_n , равное 10 Ом и более.

Для примера можем рассчитать КПД вертикалов $1/4$, $1/8$ и $1/16 \lambda$ при сопротивлении потерь 5 Ом:

$$\eta = \frac{36}{36+5} = 0,878 \quad \text{для } 1/4 \lambda ;$$

$$\eta = \frac{9}{9+5} = 0,643 \quad \text{для } 1/8 \lambda ;$$

$$\eta = \frac{3}{3+5} = 0,375 \quad \text{для } 1/16 \lambda ;$$

При сопротивлении потерь 10 Ом будут следующие значения КПД:

$$\eta = \frac{36}{36+10} = 0,783 \quad \text{для } 1/4 \lambda ;$$

$$\eta = \frac{9}{9+10} = 0,474 \quad \text{для } 1/8 \lambda ;$$

$$\eta = \frac{3}{3+10} = 0,23 \quad \text{для } 1/16 \lambda$$

Прежде чем перейти к рассмотрению практических конструкций антенн, авторы считают необходимым дать объяснения принципов работы таких важных элементов антенн с вертикальной поляризацией, как система противовесов, согласующие устройства для компенсации реактивных составляющих и трансформации волнового сопротивления.

ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОВЕСОВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕНН

Как уже говорилось в предыдущей главе, система противовесов, т. н. «искусственная земля», имеет большое значение для успешной работы вертикальной антенны. Какой же должна быть эта система?

Многие практики считают, что большее количество коротких противовесов лучше, чем несколько длинных.

Так сколько противовесов и какой длины необходимо для эффективной работы антенны с учетом конкретных возможностей радиолюбителя?

Детальной разработкой этого вопроса занялся Джон Стэнли, K4ERO (1).

Результаты его экспериментов показали, что для хорошей работы антенны нет необходимости выкладывать двор проводами.

В таблице I приводятся данные для шести вариантов систем противовесов с учетом возможностей размещения, коэффициентом потерь и входным сопротивлением для четвертьволнового вертикала.

Таблица 1

ВАРИАНТ СИСТЕМЫ	А	В	С	Д	Е	Р
КОЛИЧЕСТВО ПРОТИВОВЕСОВ	16	24	36	60	90	120
ДЛИНА ПРОТИВОВЕСОВ В λ	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,4
УГОЛ МЕЖДУ СОСЕДНИМИ ПРОВОДАМИ	22,5°	15°	10°	6°	4°	3°
ОБЩАЯ ДЛИНА ПРОТИВОВЕСОВ В λ	1,6	3	5,4	12	22,5	48
ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ДБ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ С ИЗЛУЧАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ $1/4 \lambda$	3	2	1,5	1	0,5	0
ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ТОЧКЕ ПИТАНИЯ С ИЗЛУЧАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ $1/4 \lambda$	52	46	43	40	37	35

При пользовании таблицей следует учитывать следующие замечания, которые приводит K4ERO:

— Для каждого варианта дается количество противовесов и их длина. Использование более длинных противовесов при том же количестве или большего количества при той же длине не ухудшит работу антенны, но и существенно не улучшит;

— Из таблицы 1 следует — чем больше противовесов установлено, тем лучше работает антенна, но при условии сохранения соотношения их количества и длины;

— Данные потерь мощности приводятся для антенн с размерами излучающего элемента, равного $1/4 \lambda$.

Если длина излучателя будет равна $1/8 \lambda$, то величина потерь увеличится приблизительно вдвое в каждом из вариантов, а с увеличением длины излучателя до $1/2 \lambda$ потери мощности для варианта А уменьшатся до 2 Дб и соответственно уменьшатся для всех остальных вариантов.

Данные потерь мощности, приведенные в таблице 1, даются для земли со средней проводимостью поэтому они могут существенно отличаться в каждом конкретном случае, особенно для вариантов с использованием небольшого числа противовесов. В случаях установки антенны над сухим, песчаным или каменистым грунтом следует ожидать больших потерь по сравнению с грунтом влажным или имеющим хорошую проводимость. Именно по этой причине в разные дни антенна может иметь отличающиеся характеристики.

В случаях, когда необходимо придать антенне направленность в определенную сторону, или расположение антенны диктует свои условия, то в одном направлении могут быть уложены более длинные противовесы с небольшим расстоянием между ними, а более короткие — в другом направлении.

Все данные, приведенные в таблице 1, относятся к противовесам, которые укладываются прямо на земле или закапываются на небольшую глубину во избежание механических повреждений.

Непосредственное влияние земли исключает необходимость сохранения резонансных размеров противовесов, но если антенна устанавливается достаточно высоко над землей и противовесы создают «искусственную землю», т. е. «граунд плейн», то в этом случае достаточно четырех противовесов и их длина должна быть резонансной.

ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕНН

В данном разделе будут рассмотрены различные варианты согласования на примере 6-ти диапазонной вертикальной антенны высотой 12,2 м.

При использовании в качестве линии питания коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом работа согласующего устройства в основном сводится к нейтрализации реактивной составляющей и трансформации (преобразования) входного сопротивления антенны в сопротивление 50 Ом.

В описываемом случае согласующее устройство находится у основания антенны и подключено между кабелем питания и точками подключения антенны.

Если длина антенны равна $1/4 \lambda$, то реактивность в этом случае будет равна нулю и кабель с волновым сопротивлением 50 Ом можно подключать прямо к антенне без согласующего устройства (Рис. 1).

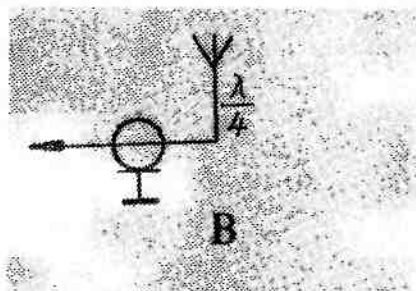


Рис. 1

Если антенна меньше чем $1/4 \lambda$, то в этом случае подключается катушка индуктивности (рис. 2).

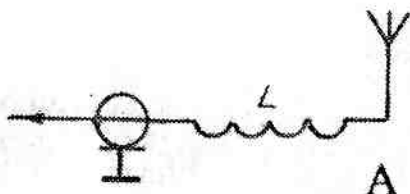


Рис. 2

А если больше — от $1/4 \lambda$ и до $1/3$, то резонанс достигается подключением конденсатора (рис. 3). Для

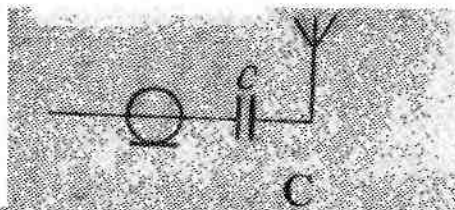


Рис. 3

данной антенны длиной от $1/4 \lambda$ до $1/2 \lambda$ наиболее эффективным можно считать способ, показанный на рис. 4.

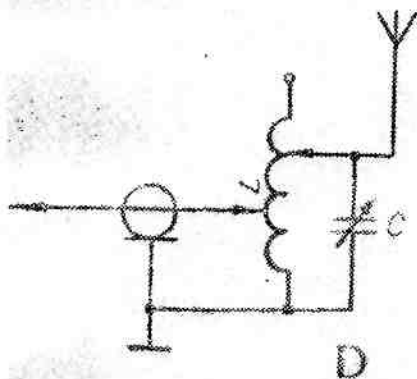


Рис. 4

Для антенн с размерами больше $1/2 \lambda$ (включая $5/8 \lambda$) конденсатор можно не использовать, т. к. реактивность антенны в данном случае емкостная, (рис. 5)

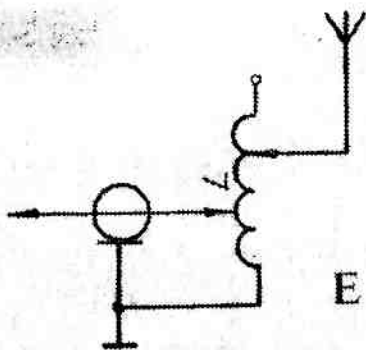


Рис. 5

В таблице 2 приведены данные согласующих устройств для вертикального штыря длиной 12,2 м на шести КВ диапазонах.

Таблица 2

Согласующие устройства для использования
вертикальной антенны
высотой 12,2 м на 6 диапазонах

Диапазон МГц	Вариант	Емкость С	φ	Катушка индуктивности					Примечания
				мкГн	к-во витков	диаметр см	длина см	провод мм	
1,8	A	—	70	26	9	4	1,3		
3,5	A	—	17	22	4	3,5	1,02		прямое подключение
7	B	—	—	—	—	—	—	—	
14	E	—	1,4	11	6,5	6	2,05		подключение ка- беля к 2 витку от земл. конца
21	D	35	1,4	8	3,2	2,5	1,3		подключение ка- беля к 2 витку от земл. конца
28	B	—	—	—	—	—	—		прямое подключение
1,8 Д, Е									эксперименталь- ная подборка (см. текст)

ПРОСТОЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СОГЛАСУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР

Описываемый широкополосный трансформатор позволяет согласовать обычную линию питания (коаксиальный кабель 50 Ом) с вертикальной антенной, укороченной до $1/25 \lambda$ и входным сопротивлением до 3—4 Ом.

Применение трансформатора не исключает необходимости компенсации реактивной составляющей.

На рис. 7 показан трансформатор с четырьмя обмотками, позволяющий осуществить широкополосную трансформацию в пределах от 1:4 до 1:16. Следует обратить внимание, что при использовании трансформатора в по-

ложении 1:16 по трем верхним обмоткам протекает одинаковый ток, величина которого зависит от выходной мощности передатчика, а по нижней обмотке величина

тока увеличивается в три раза. Если трансформатор используется для согласования низкого входного сопротивления антенны порядка 3—4 Ом, то при выходной мощности свыше 200 Вт величина тока вырастает до 12—15 А. В этом случае можно рекомендовать последовательное включение двух трансформаторов с коэффициентом трансформации (K_{tr}) 1:4.

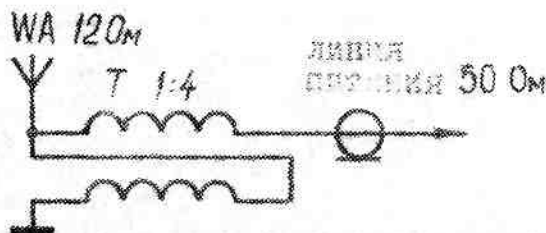


Рис. 6

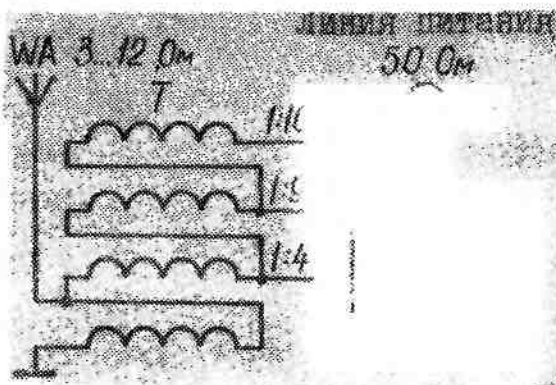


Рис. 7

Трансформатор наматывается на ферритовом кольце с внешним диаметром 6—7 см и магнитной проницаемостью М125 или М40. Чем меньше магнитная проницаемость ферритового кольца, тем большее количество витков должен содержать трансформатор. С понижением частоты количество витков также увеличивается. Поэтому для кольца с М125 необходимо 10 витков, а для М40—12 витков, чтобы трансформатор работал без потерь и на диапазоне 160 метров.

Трансформатор наматывается проводом $\varnothing 1,6-1,8$ мм в два (рис. 6) или четыре (рис. 7) провода в зависимости от необходимого коэффициента трансформации. Соединения обмоток должны быть как можно короче, чтобы избежать паразитных индуктивностей, особенно на высоких частотах (14 МГц и выше).

Практические конструкции четвертьволновых вертикалов являются вариантами 3-х основных типов антенн:

1. Как показано на рис. 8, антенна установлена на

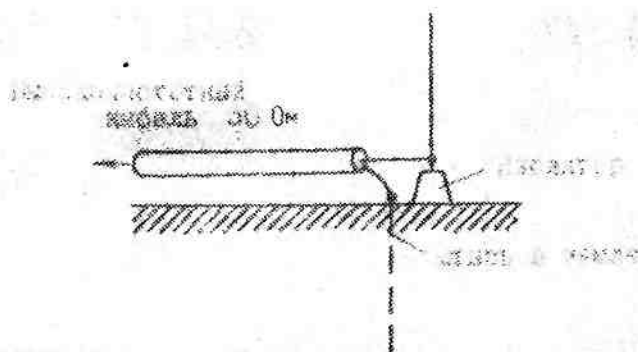


Рис. 8

изоляторе, расположенном на земле. Антенна питается коаксиальным кабелем, центральная жила которого подключена к вертикальному элементу антенны, а оплетка подключена к заземленному металлическому штырю произвольной длины (чем длиннее, тем лучше) в непосредственной близости от вертикального элемента. Эта конструкция наименее эффективная из всех трех.

2. Антенна (рис. 9), как и в первом случае, устанавлива-

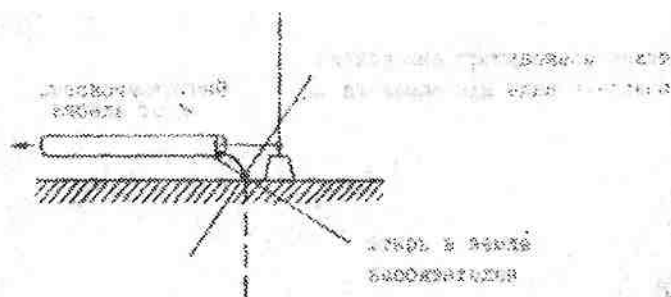


Рис. 9

ется на изоляторе у земли и так же питается коаксиальным кабелем, но дополнительно имеет определенное количество радиальных проводников, подключенных к оплетке кабеля и расходящихся в стороны от основания антенны.

Эти проводники «добавляют проводимости» земле. Их можно укладывать прямо на землю или вкопать на небольшую глубину (только для защиты от механических повреждений).

Традиционно, длина проводников равна $1/4 \lambda$, но зачастую место, где устанавливается антенна, не позволяет равномерно расположить одинаково длинные отрезки проводников, поэтому в практических конструкциях они могут быть либо короче, либо комбинацией из длинных и коротких проводников.

3. Наиболее эффективной из трех описываемых конструкций является антенна, смонтированная на возвышении (рис. 10) в отдалении от всех энергопоглощающих

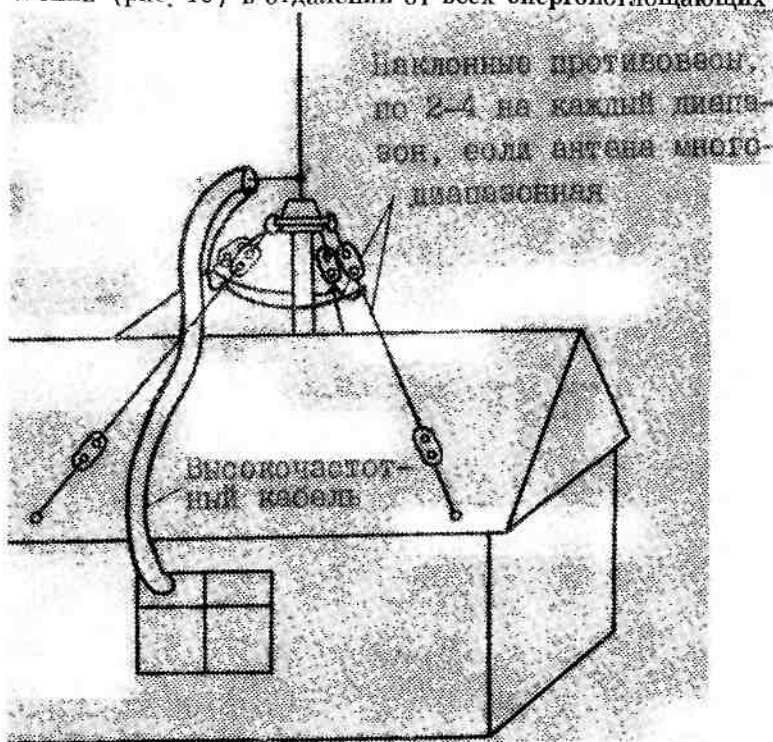


Рис. 10

объектов, включая саму землю. Для этой конструкции «искусственную землю» формируют 4 радиальных проводника, каждый длиной $1/4 \lambda$ и подключенных к оплетке кабеля.

Такой тип «искусственной земли» был назван «граунд плейн», что в свою очередь дало название антеннам подобного типа.

Глава II

МНОГОДИАПАЗОННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

Из-за отсутствия возможности установить вращающиеся направленные антенны, этот тип антенны получил наибольшее распространение среди коротковолновиков, т. к. позволяет использовать одну антенну для работы на разных диапазонах. Описанные в данном разделе конструкции вполне доступны для повторения как квалифицированным радиолюбителям, так и начинающим. Авторы рекомендуют применять дюралюминиевые трубы марки Д-16т диаметром от 15 до 100 мм в зависимости от той или иной конструкции. Собирая антенну из труб разных диаметров, следует не забывать, что чем ближе к вершине, тем меньшего диаметра должна быть труба. Учитывая влияние диаметра труб на входное сопротивление антенны, ее широкополосность и резонансную частоту, все описанные конструкции могут иметь небольшие отклонения от рекомендуемых данных, но это легко устраняется настроечными элементами и особой сложности не представляет.

* Американский коротковолновик Д. Холландер (N7RK) (12) разработал трехдиапазонную антенну для работы на 160, 80 и 40 м (рис. 11). Ем-

на имеет значение КСВ не более 1,1—1,2 на каждом диапазоне и хорошо зарекомендовала себя при проведении дальних радиосвязей на НЧ диапазонах.

* «Если у вас нет эффективной антенны для работы с ДХ на НЧ диапазонах, сделайте эту конструкцию и это будет то, что Вам необходимо для достижения успеха ...» такими словами охарактеризовал американский радиолюбитель В. Станфорд (КЗЕО) (7) антенну, разработанную им для работы на 160, 80, 40 и 30 метрах. Наличие емкостной нагрузки, состоящей из шести дюралюминиевых трубок диаметром 12 мм, и расположенных равномерно по кругу, удлиняет электрическую длину антенны до $5/8 \lambda$ на 30 м, $1/2 \lambda$ на 40 м, $1/4 \lambda$ на 80 м и $1/8 \lambda$ на 160 м. Антенна показана на рис. 12. Данные катушки индуктивности L приве-

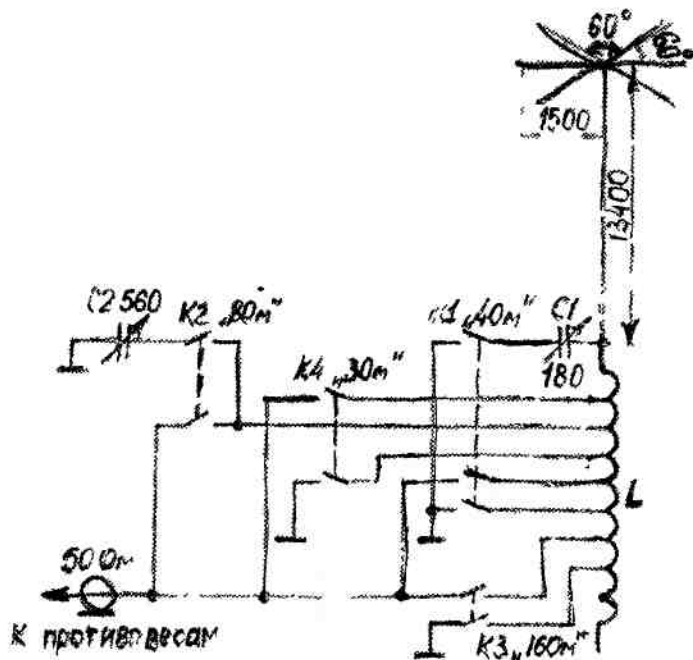
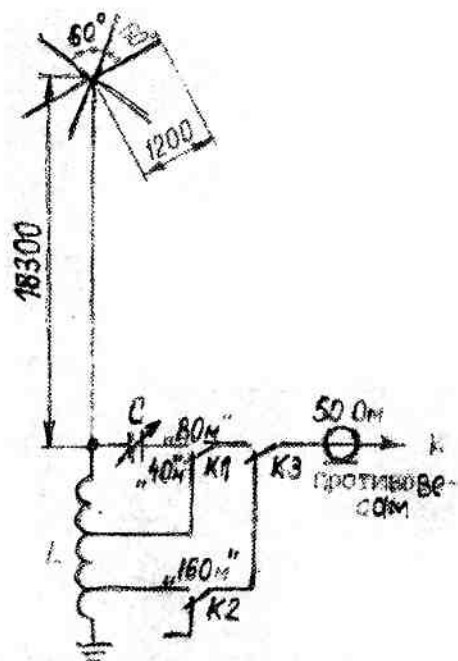


Рис. 12

дены в таблице 3.



L - 40 витков, проводом $\phi 3$
 диаметр катушки 51 мм. шаг
 витков 3 мм, отводы от 10
 20 витков, отсчет от зазем-
 ленного конца катушки

Рис. 11

костная нагрузка, расположенная на вершине и состоя-
 ящая из 6 дюралюминиевых трубок диаметром около 6 мм,
 разнесенных под углом в 60° друг к другу, удлиняет
 электрические размеры антенны до $1/8 \lambda$ на 160 м,
 $1/4 \lambda$ на 80 м и $1/2 \lambda$ на 40 м. Наличие катушки ин-
 дуктивности L_1 и емкости C , позволяет, изменяя их
 значения, настраивать антенну в резонанс и согласо-
 вать с 50-омным коаксиальным кабелем. Если антенна
 будет расположена над землей, то четырех противовесов
 длиной $1/4 \lambda$ для каждого диапазона будет достаточ-
 но, если же на земле, то количество противовесов должно
 быть не менее 20. По данным автора настроенная антен-

Таблица 3

коли- чество витков	диаметр катушки, мм	диаметр провода, мм	длина намот- ки, мм	отводы, считая от горячего конца	диапа- зон м
30	76	1	150	от 3 и 8 витков	30
				от 7 и 10 витков	40
				от 4 витка	80
				от 22 и 25 витков	160

При установке антенны на земле количество противовесов длиной 30 метров должно быть не менее 50. На крыше или на другой высоте будет достаточно четырех противовесов длиной $1/4 \lambda$ для каждого диапазона. Следует заметить, что антенна имеет укороченные размеры на диапазоне 160 м, ее полоса пропускания примерно 45 кГц, при значении КСВ менее 2. Настройка антенны сводится к подбору значения емкостей C_1 и C_2 , а также подбору отводов катушки индуктивности L по минимальному значению КСВ на каждом диапазоне.

* Модификацией конструкции КЗЕО явилась антенна предложенная И. Л. Зельдиным (UB5LCV) (Рис. 13.)

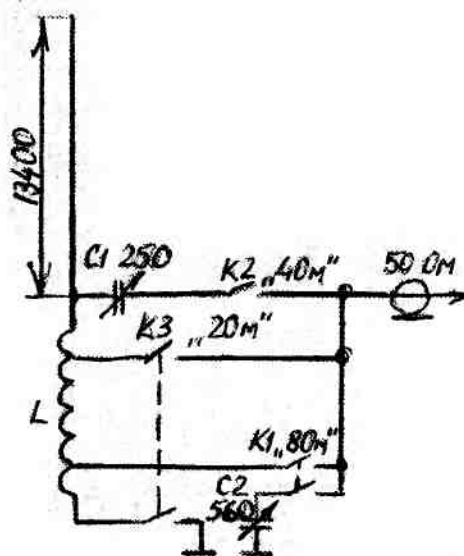


Рис. 13.

В данной конструкции отсутствует емкостная нагрузка в диапазоне 160 м, при этом несколько сузилась полоса пропускания антенны на диапазоне 80 м — около 85 кГц.

Вместо диапазона 30 м реализован диапазон 20 м. Электрические размеры антенны $1/4 \lambda$ на 80 м, $5/8 \lambda$ на 20 м и удлинённый $1/4$ штырь на 40 м.

Катушка индуктивности L имеет 26 витков провода диаметром 1 мм. Диаметр катушки 76 мм, а шаг намотки 6 витков на 2,5 см. Отводы от 4 и 24 витков, считая от горячего конца. Изменяя значение емкостей C_1 и C_2 , а также подбирая отводы катушки L , антенну настраивают по минимальному значению КСВ на каждом диапазоне, который не превышает значения 1,2. Противовесы выполнены так же как и в антенне КЗЕО.

* Очень простую шестидиапазонную антенну предложил английский радиолюбитель G3RFG (5) (рис. 14.)

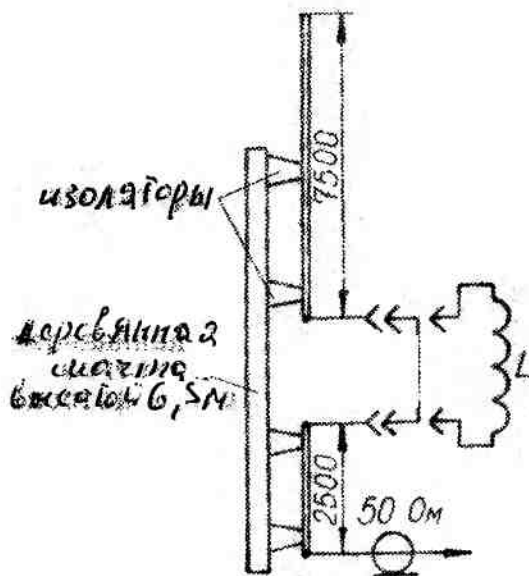


Рис. 14

Когда перемычка, соединяющая верхнюю и нижнюю части антенны, разомкнута, — антенна имеет электрическую длину для диапазона 10 м — $1/4 \lambda$, при замкнутой перемычке — $1/4 \lambda$ на 40 м и $3/4 \lambda$ на 15 м. Для работы на диапазонах 160, 80 и 20 метров используются

катушки индуктивности, данные которых приведены в таблице 4.

Настройка антенны сводится к подбору значений индуктивности для тех диапазонов, где они используются. Следует заметить, что ввиду своих укороченных размеров на 160 и 80 метров полоса пропускания антенны небольшая, всего несколько десятков кГц. Коэффициент противовесов зависит от того, где расположена антенна — на земле или на высоте.

Таблица 4

Диапазон	Количество витков	Диаметр намотки, мм	Длина намотки, мм	Диаметр провода, мм
160	55	50	126	1—2
80	30	50	75	
40	22	50	63	

* Швейцарский радиолюбитель В. Рихард (HB9ADQ) (6) предложил конструкцию пятидиапазонной вертикальной антенны. Ее особенностью является наличие резонансного контура L_1C_1 и фазирющей петли. Рассмотрим принцип работы антенны. Контур L_1C_1 при вершине антенны настроен на частоту 20,8 мГц. Фазирующая петля используется на диапазонах 15 и 20 м. Электрическая длина на диапазоне 15 м складывается из части длиной $9/16 \lambda$, расположенной над $5/8 \lambda$ частью вибратора диапазона 15 метров. На 20 метрах мы имеем излучатель $5/8 \lambda$, расположенный над отрезком длиной $3/8 \lambda$. Фазирующая петля работает как отрезок с электрической длиной $1/8 \lambda$ и $3/16 \lambda$ соответственно на 20 и 15 м.

Размеры антенны и данные L_1C_1 показаны на рис. 15. Фазирующая петля выполнена из алюминиевой трубки диаметром 13 мм. Настраивают антенну с помощью обычного индикатора напряженности поля по минимуму показаний по всей длине фазирующей петли, изменяя при этом длину и высоту линии. Значение КСВ при этом должно быть не более 1,2 на каждом диапазоне. Противовесы имеют длину, равную $1/4 \lambda$ для каждого диапазона.

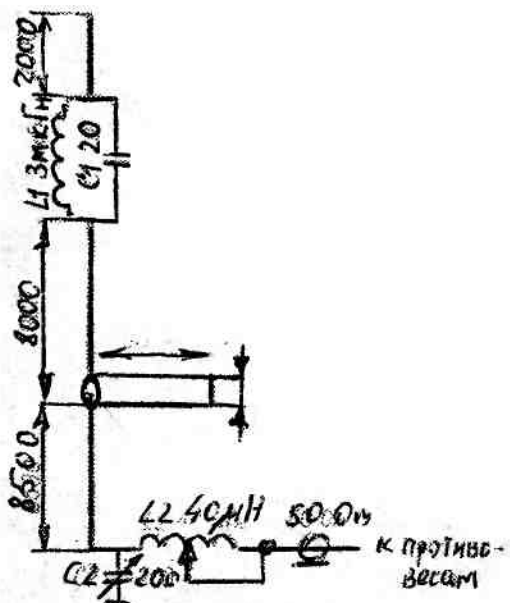


Рис. 15

* Антенна, показанная на рис. 16, разработана амери-

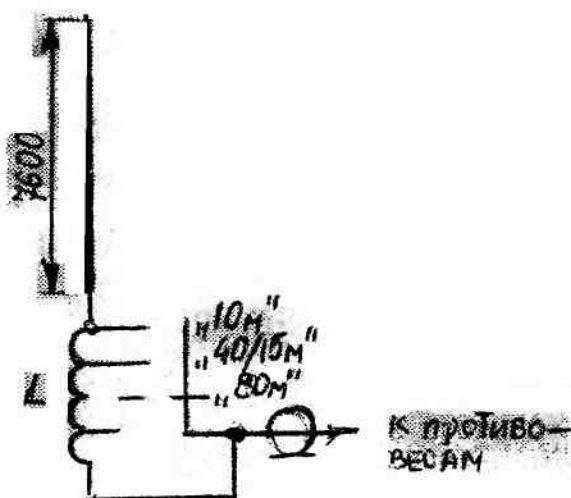


Рис. 16

канской женщиной-радиолюбителем Мариан Андерсон (WB1FSB) (11), которая предложила простую, но эффективную антенну для работы на диапазонах 80, 40, 15 и 10 метров. Электрическая длина антенны соответствует $1/8 \lambda$ на 80 м, $1/4 \lambda$ на 40 м, $3/4 \lambda$ на 15 м и 10 м. Катушка индуктивности L наматывается проводом диаметром 1—2 мм и имеет длину намотки 127 мм, диаметр намотки 64 мм, шаг намотки—6 витков на 2,5 см. Отводы подбираются экспериментально по минимальному значению КСВ. Противовесы состоят из 10 проводников, 5 — длиной 4,57 м и 5 — длиной 7,62 м. По данным автора, значение КСВ не более 1,2 на всех диапазонах.

* Очень простая трехдиапазонная антенна, часто применяемая в радиолубительской практике, показана на рис. 17. Антенна имеет электрическую длину $1/4 \lambda$ на

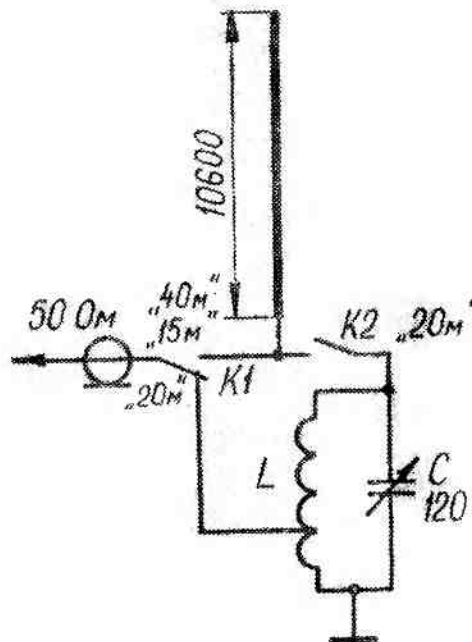


Рис. 17

40 м, $1/2 \lambda$ на 20 м и $3/4 \lambda$ на 15 м. Контур предназначен для согласования высокого входного сопротивления антенны на диапазоне 20 метров с волновым сопротивлением коаксиального кабеля. Катушка индук-

тивности L диаметром 50 мм имеет 8 витков проводом диаметром 1—2 мм. Отвод делается от 2 витка, считая от холодного конца катушки. Настройка антенны необходима только на диапазоне 20 м и осуществляется подбором отвода катушки индуктивности L и изменением емкости C , по минимальному значению КСВ.

* Оригинальную конструкцию пятидиапазонавой вертикальной антенны предложил О. Сафрулин (UA4PA 13) рис 18.) Преимуществом данной антенны является

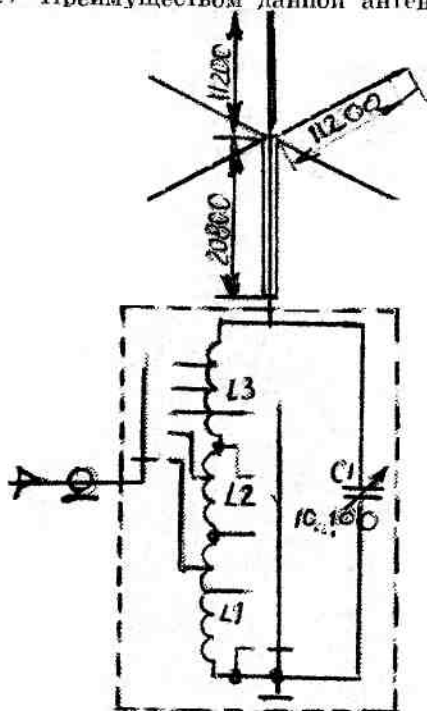


Рис. 18

то, что ее настройка осуществляется на рабочем месте оператора. Выход передатчика подключен к части контура с входным сопротивлением 75 Ом, что обеспечивает работу фидера в режиме бегущей волны со значением КСВ на каждом из 5 диапазонов близким к 1. Настраивают антенну, начиная с контура L, C при отключении от передатчика фидера. При помощи ГИР или ГСС с ламповым вольтметром подбирают индуктивность катушек L_1 , L_2 , L_3 для каждого диапазона при среднем положении переменного конденсатора C_1 .

Грубая настройка производится подбором витков, точная — изменением величины емкости конденсатора C . Затем подбирают точки подключения фидера от передатчика для каждого диапазона по минимальному показанию KCВ -метра. Окончательная настройка антенны производится по максимальному показанию индикатора ВЧ поля, расположенного вблизи «горячего» конца контура. По словам автора, антенна показала хорошие результаты при работе на диапазонах 40, 20, 15 и 10 метров и вполне удовлетворительные результаты на 80 м.

* Для тех радиолюбителей, которые ограничены пространством и нет возможности установить большую многодиапазонную вертикальную антенну, можно рекомендовать конструкцию, разработанную Дж. Расгровом (WAILNQ) (8) (рис. 19.) Антенна предназначена для

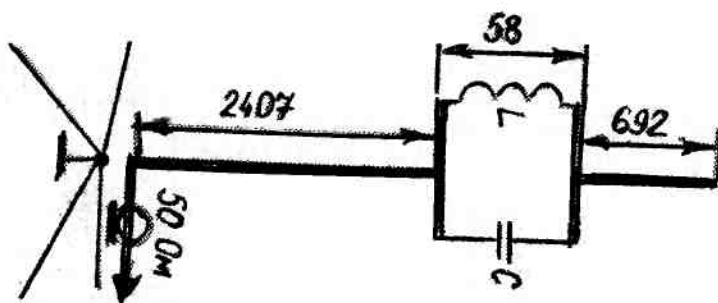


Рис. 19

работы на диапазонах 21 и 28 мГц. Особенностью данной конструкции является использование в резонансном контуре LC , настроенном на частоту 28.150 кГц, в качестве емкости-отрезка коаксиального кабеля. Известно, что коаксиальные кабели имеют различную погонную емкость, используя эти данные, можно подобрать отрезок кабеля, равный соответствующей емкости.

Катушка индуктивности L выполнена из медной трубки диаметром 3—5 мм, 2 витка с шагом 1 виток на 2,5 см намотаны диаметром 55 мм. Автор использовал в качестве емкости отрезок 50-омного кабеля длиной 77,5 см, который укорачивается в процессе настройки по ми-

вимальному значению КСВ на резонансной частоте. Рабочие характеристики антенны для каждого диапазона такие же, как и у штыря имеющего электрическую длину $1/4 \lambda$.

* Одной из разновидностей многодиапазонных антенн вертикальной поляризацией является дискоконусная антенна (дискон). Перекрывая широкий диапазон частот, не критичная к настройке, антенна имеет входное сопротивление на всех диапазонах около 50 Ом. Отсутствие каких-либо резонансных контуров, диапазоновых переключений, а также системы заземления дает ей целый ряд преимуществ перед остальными антеннами этого типа. Усиление дискоконусной антенны во всем диапазоне частот около 3 дБ по сравнению с диполем.

Угол излучения данной антенны уменьшается с приближением к максимальной рабочей частоте, что дает ей некоторые преимущества при проведении дальних радиосвязей по сравнению с обычным четвертьволновым вертикалом. Для того, чтобы рассчитать дискоконусную антенну, работающую в необходимом диапазоне частот используются следующие данные:

- α — угол при вершине конуса;
- L_s — длина стороны конуса;
- L_v — расстояние от диска до основания конуса;
- D — диаметр диска;
- S — расстояние между диском и конусом;
- C_{max} — максимальный диаметр конуса;
- C_{min} — минимальный диаметр конуса;

Оптимальные соотношения для дискона:

$$S = 0,3 C_{min}; \quad D = 0,7 C_{max}; \quad \alpha = 60^\circ; \quad \frac{L_s}{C_{min}} > 22;$$

Для расчета дискона необходимо также использовать следующие эмпирические формулы:

$$L_v (M) = \frac{72}{F (M\Gamma u)} \quad L_s = L_v \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

связано с футах (инчер)

Следует сказать, что понятие диск и конус условные. Диск — это 6 — 8 трубок расчетной длины, соединенных электрически на вершине мачты и изолированных от конуса. Конус — это расположенные наклонно проводники, их количество долж-

но быть не менее 12, а длина рассчитывается по формулам, приведенным выше. Питание антенны производится коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом, центральная жила кабеля подключается к диску, а оплетка кабеля к конусу. Чертеж диска показан на рис. 20,

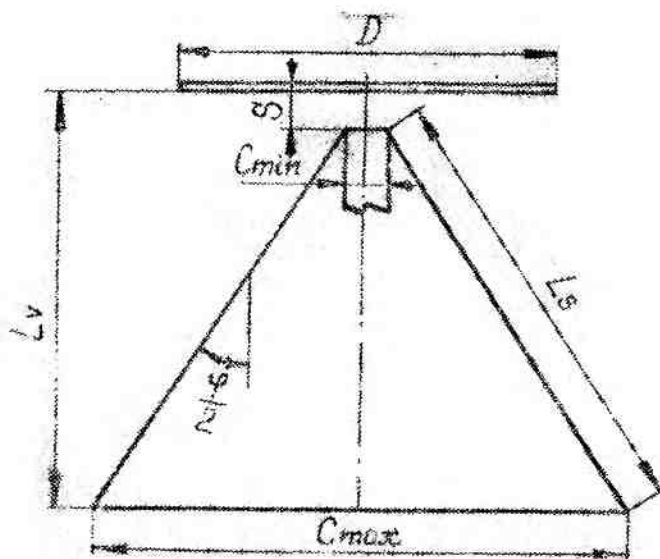


Рис. 20

* Практическую конструкцию диска предложил канадский радиолюбитель Дж. Белроуз (рис. 21). Разработанная им антенна рассчитана на работу в диапазоне от 40 до 10 метров, при этом значение КСВ по данным автора было менее 1,5. Белроуз рекомендует, как обязательное условие, соединить между собой все концы трубок диска и все концы проводников конуса, имитируя тем самым эти фигуры.

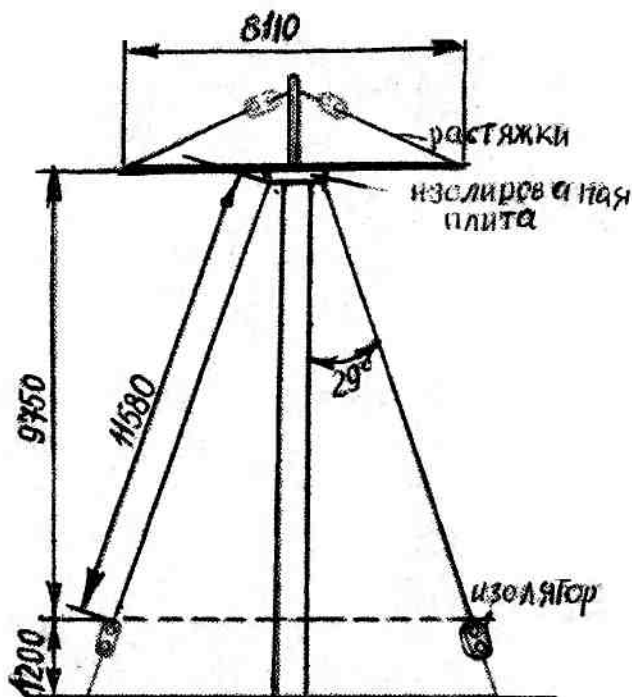


Рис. 21

Диск выполнен из дюралюминиевых труб диаметром 22 мм и соединенных между собой алюминиевым проводом диаметром 2—3 мм. Конус выполнен из обычного медного провода диаметром 2—3 мм, концы проводников электрически соединяются между собой проводом из такого же материала. В какой-либо настройке антенна не нуждается.

Глава III ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ РАБОТЫ НА НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНАХ

По результатам опроса радиолюбителей американским журналом QST, какую бы вы антенну хотели использовать для работы на низкочастотных диапазонах, 60% ответили, что вертикальную, 30% — горизонтальную и 10% имели двойственное мнение.

В данном разделе авторы приводят ряд конструкций антенн, способы их согласования для работы на НЧ диапазонах и надеются, что это поможет вам выбрать ту антенну которую будет удобней всего реализовать в ваших условиях. Надо не забывать, что при работе на НЧ диапазонах желательно иметь отдельную антенну на прием, но об этом будет написано в следующем выпуске.

На рис. 22 приведены различные способы согласования для антенн высотой 25,4 м. работающих на диапазонах 80 и 40 м.

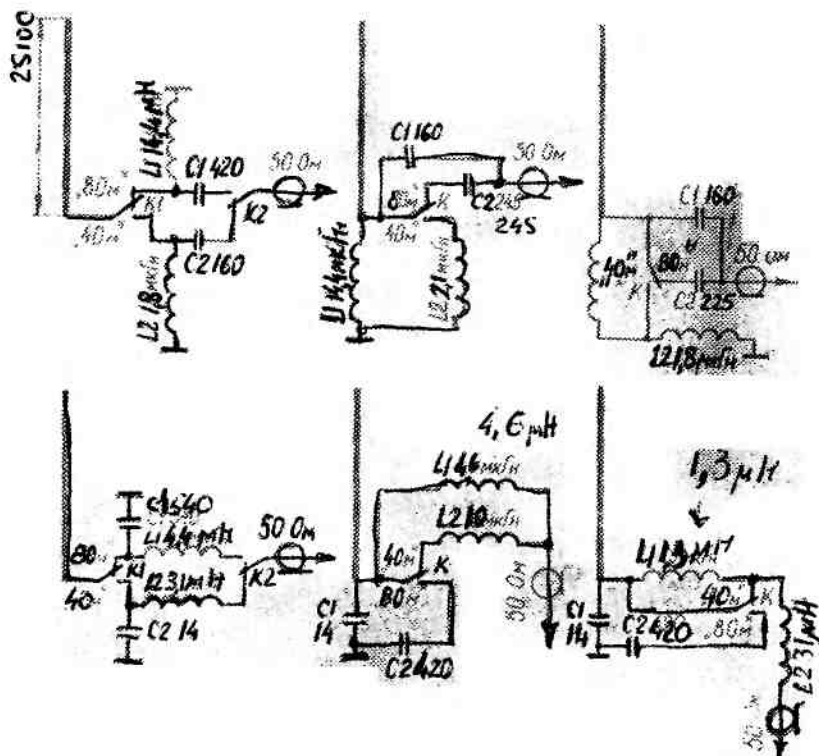


Рис. 22

Для антенн высотой 30,5 м, предназначенных для работы на диапазонах 160 и 80 м, авторы предлагают следующие способы согласования (рис. 23).

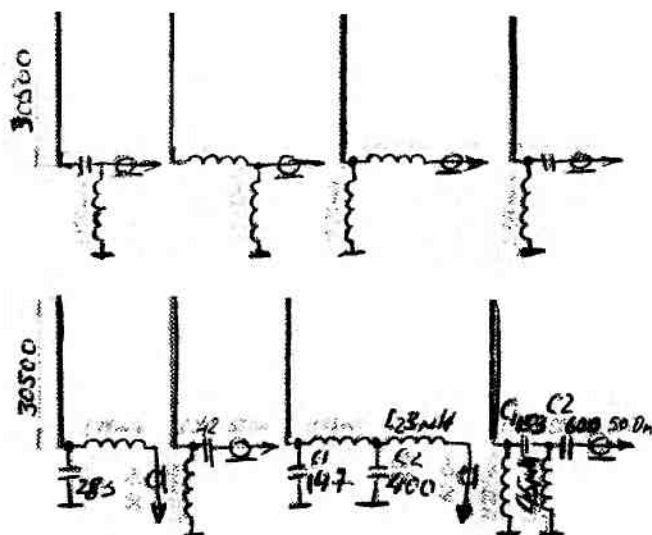


Рис. 23

* Известный бельгийский коротковолновик Дж. Деволдер (4) разработал эффективную антенну для работы на диапазонах 160, 80 и 40 м. В качестве элемента, увеличивающего электрическую длину антенны на диапазоне 160 м, используется удлиняющая согласующая линия (Linear Loading Line), а на остальных диапазонах используются обычные согласующие устройства (Г-образный L_1C_1 контур). Таким образом электрическая длина антенны на 160 м — $1/4 \lambda$, на 80 м — $3/8 \lambda$ и $5/8 \lambda$ на 40 м. Наличие хорошей системы заземления обязательно, как в случае установки антенны на земле, так и на высоте. Размеры и данные согласующих устройств антенны показаны на рис. 24.

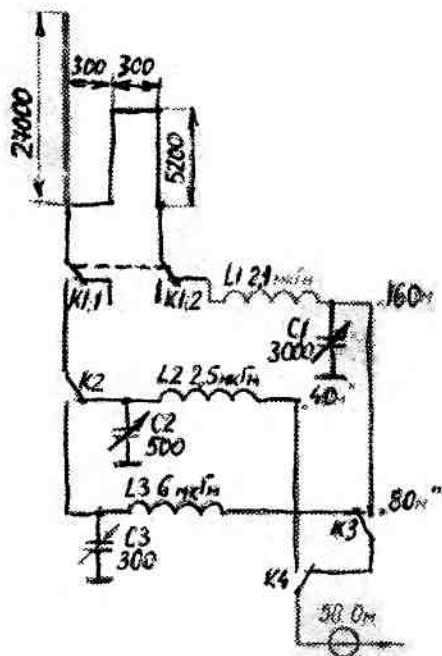


Рис. 24

Автор эксплуатирует антенну в течение нескольких лет и достиг выдающихся результатов, работая на 160 и 80 м. Так, например, за три месяца, работая на диапазоне 160 м, Деволдер провел радиосвязи со 140 странами мира.

* Антенна, показанная на рис. 25, имеет такую же высоту, что и антенна ON4UN, но в ней отсутствует удлиняющая согласующая линия для работы на 160 м, что несколько ухудшает ее рабочие характеристики на этом диапазоне. Антенна имеет электрическую длину 0,17 λ для диапазона 160 м

Рис. 25

и $3/8 \lambda$ для 80-метрового диапазона. Куплирующее устройство для каждого диапазона согласовывает входное сопротивление антенны с питающим коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом. Система за-

земления такая же, как и у предыдущей конструкции.

* Эффективную антенну для работы на НЧ диапазонах предложил В. Гончарский (UB5WE), (рис. 26.) Автор эксплуатировал эту антенну в течение нескольких лет и добился хороших результатов при проведении дальних связей и участвуя в различных соревнованиях.

Антенна UB5WE была повторена несколькими радиолюбителями и подтвердила свою универсальность и эффективность. Электрическая длина вертикала около $5/8 \lambda$ на 40 м, $3/8 \lambda$ на 80 м и $1/8 \lambda$ на 160 м. Отрезки оттяжек верхнего яруса длиной 5 м электрически соединены с вертикалом и представляют собой емкостную нагрузку, которая увеличивает электрическую длину антенны до размеров, указанных выше.

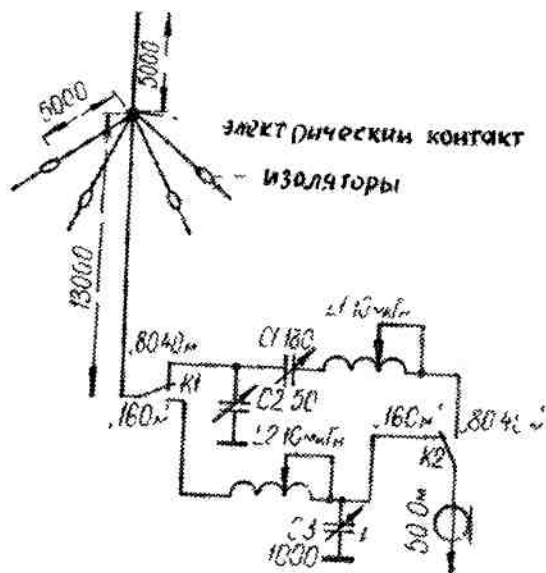


Рис. 26

Настройка антенны сводится к подбору значения индуктивности катушки L_2 и емкости C_3 на диапазоне 160 метров и индуктивности катушки L_1 и емкостей C_1 и C_2 для диапазонов 80 и 40 метров соответственно по минимальному значению КСВ на каждом диапазоне.

* Применяя принцип использования растяжек антенны в качестве емкостной нагрузки, увеличивающей электрическую длину антенны, предлагается конструкция вертикала для работы на 80 м и 40 м (рис. 27.)

Настраивают антенну, подбирая значения индуктивности катушки L и емкости конденсатора C таким образом чтобы значение КСВ на каждом диапазоне было не более 1,5. Количество противовесов не менее 4-х для каждого диапазона и их длина 20,5 м и 10,4 м соответственно.

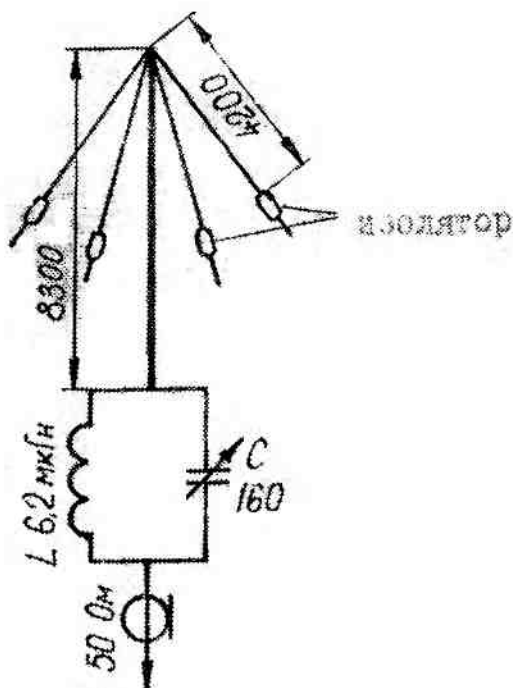


Рис. 27

* Для тех, у кого большие трудности с размещением антенны для работы на 160 метрах. М. Маслер (WB8JJA) (22) предложил очень простую антенну для этого диапазона. Четыре наклонных луча длиной 15 м электрически соединены с вершиной мачты и образуют емкостную нагрузку, увеличивая электрическую длину антенны до $1/8 \lambda$. Автор отказался от применения согласующего устройства, поэтому настройка и согласование антенны сводится к подбору длин наклонных лучей по минимальному значению КСВ на резонансной частоте. Ввиду того, что антенна имеет уменьшенные размеры, ее полоса пропускания узкая — около 20 — 30 кГц. Противовесы имеют длину, равную $1/4 \lambda$. Антенна показана на рис. 28.

* Одной из разновидностей вертикальных антенн является так называемый Bobtail Curtain. Эта антенна представляет собой три четвертьволновых вертикала, запитанных сверху через горизонтальную про-

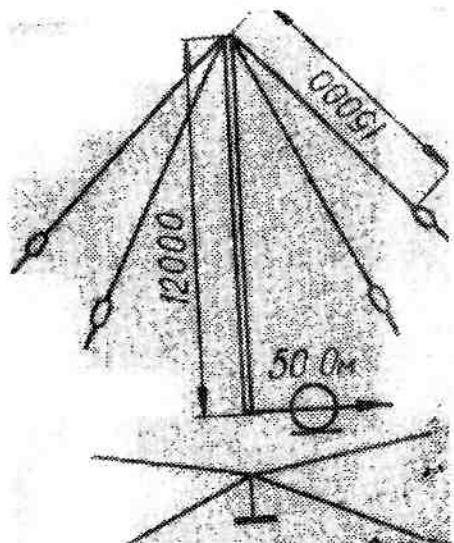


Рис. 28

волочную секцию и разнесенных на расстояние $1/4 \lambda$. Антенна имеет двухстороннюю диаграмму направленности, расположенную перпендикулярно плоскости антенны, и имеет усиление на 5 дБ больше, чем у обычного четвертьволнового вертикала. Входное сопротивление центрального питающего элемента очень высокое, несколько тысяч Ом, поэтому использование согласующего устройства для согласования с питающей линией обязательно. Следует не забывать, что на нижних концах элементов создается очень большое ВЧ напряжение, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности во избежание ожогов. Требования к системе заземления такие же, как и для обычного четвертьволнового вертикала, а значение индуктивности контура и отвод подбираются экспериментально в процессе настройки. Рекомендуемые значения контурной емкости для диапазонов 160 и 80 м, 160 пф и 80 пф соответственно. Формулы для расчета размеров Bobtail¹ Curtain и ее вид показаны на рис. 29

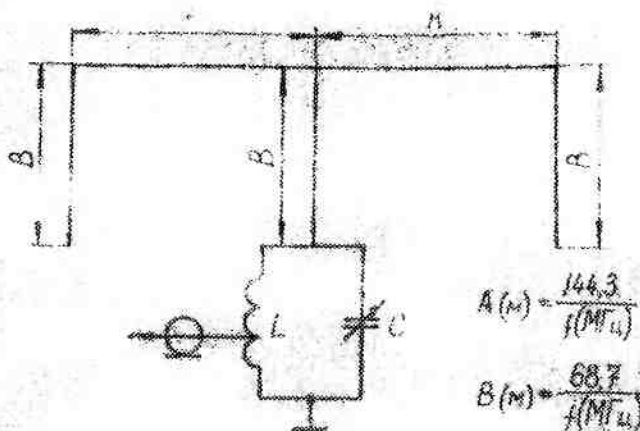


Рис. 29

* Антенна, показанная на рис. 30, является разновидностью двухпроводникового вертикального излучателя с несимметричным питанием и напоминает своей формой букву «Т». Антенна работает на диапазонах 160 м и 80 м.

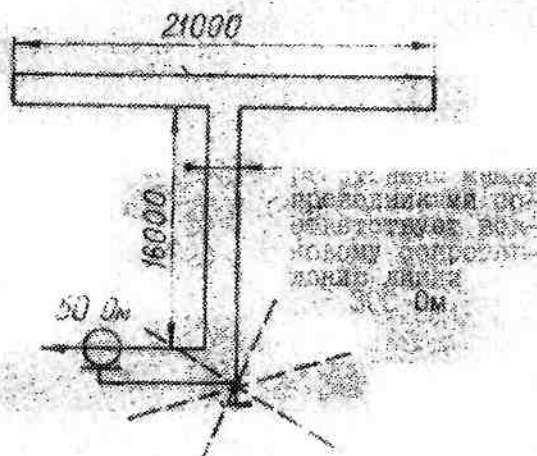


Рис. 30

Двухпроводный фидер длиной 16 м должен идти вертикально, поскольку на диапазоне 160 м излучает именно он. На диапазоне 80 м излучает горизонтальная часть

антенны, а вертикальная часть служит в качестве четвертьволнового трансформатора, согласуя высокое входное сопротивление антенны (около 6000 Ом) с волновым сопротивлением кабеля. Наличие системы заземления обязательно.

* Одной из распространенных антенн для работы на диапазоне 160 метров является антенна Inverted L, которая также относится к разделу вертикальных излучателей и очень проста в изготовлении. Входное сопротивление Inverted L равно $(600 + j 400)$ Ом, что требует применения согласующего устройства при запитке коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом. Система заземления может быть любой, в зависимости от условий размещения антенны. Антенна показана на рис. 31.

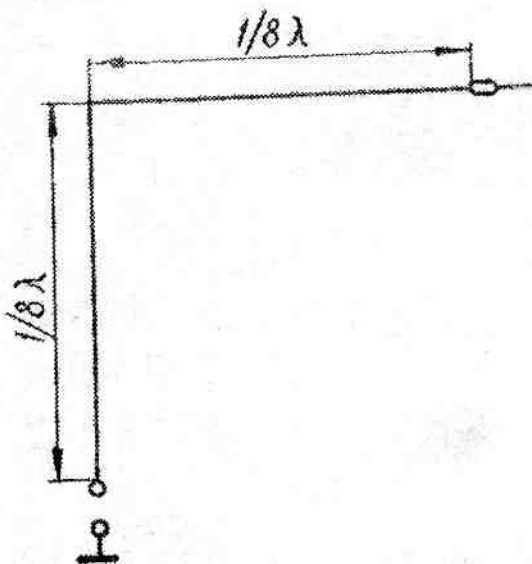


Рис. 31

* Двухдиапазонный вариант INVERTED L предложил известный американский радиолюбитель Де Мау (W1FB) (10) рис. 32. Длина отрезка L_1 равна $1/4 \lambda$ для диапазона 80 метров, а сумма отрезков L_1 и L_2 , включая резонансный контур $L_3 C_1$, составляет электрическую длину антенны для диапазона 160 м, равную $1/4 \lambda$. Следует отметить, что чем больше будет

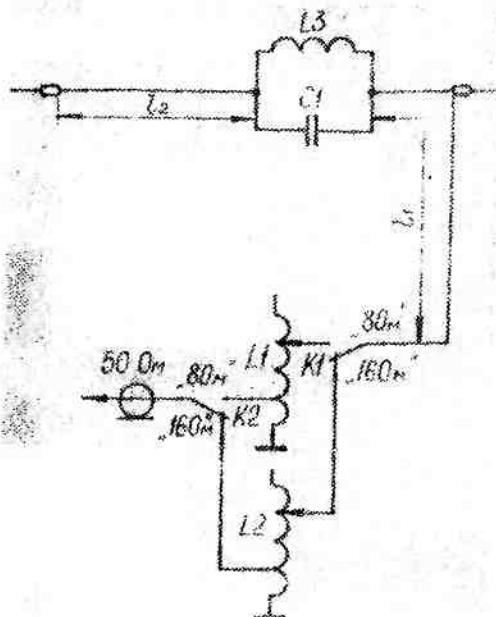


Рис. 32

вертикальная часть антенны, тем эффективней она будет работать. Для согласования антенны с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом применяют катушки индуктивности L_1 и L_2 . Отводы в катушках подбираются экспериментально по минимальному значению КСВ на каждом диапазоне. Эмпирические формулы для расчета длин L_1 и L_2 :

$$L_1(\text{М}) = \frac{71,37}{F(\text{МГц})}, \quad L_2(\text{М}) = \frac{71,37}{F(\text{МГц})}$$

Конденсатор С 1 имеет емкость 500 пф, а данные катушек индуктивности приведены в таблице 5.

Таблица 5

Катушка	Количество витков	Диаметр намотки, мм	Длина намотки, мм	Диаметр провода, мм
L_1	8	60	76	1—2
L_2	15	60	150	
L_3	8	50	80	

Необходимо наличие заземления, это могут быть не только радиальные противовесы, но и несколько штырей, забитых в землю или другие способы заземления, которые вам удобней всего будет использовать.

* Очень похожей на INVERTED L является антенна, получившая название Маркони (рис. 33). Укорачиваю-

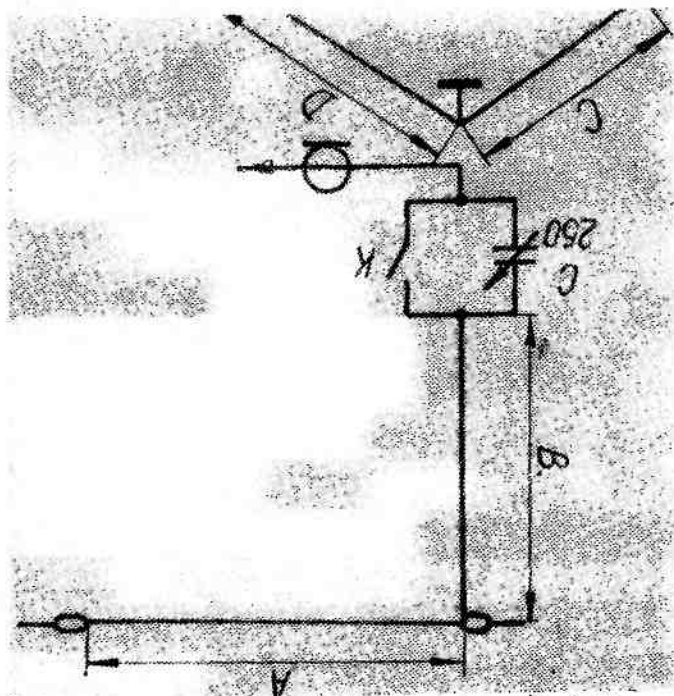


Рис. 33

щая емкость, используемая при работе на более высокочастотных диапазонах, должна быть рассчитана на высокое ВЧ напряжение, т. к. в точке ее подключения находится пучность напряжения. Антенна типа Маркони имеет электрическую длину, равную $3/8 \lambda$ на низкочастотном диапазоне и соответственно $3/4 \lambda$ на более высокочастотном диапазоне. Изменяя величину емкости

С, антенну настраивают в резонанс на более высокочастотном диапазоне по минимальному значению КСВ, а на низкочастотном диапазоне, подбирают длину антенны. Размеры антенны Маркони для различных диапазонов приведены ниже.

$$160 \text{ м} + 80 \text{ м}$$

$$A+B=54,9 \text{ м}$$

$$C=37,5 \text{ м}$$

$$D=19,3 \text{ м}$$

$$80 \text{ м} + 40 \text{ м}$$

$$A+B=27,5 \text{ м}$$

$$C=19,3 \text{ м}$$

$$D=10 \text{ м}$$

* Многие радиолюбители, применяющие вращающиеся направленные антенны, не всегда имеют возможность из-за отсутствия пространства сконструировать эффективные антенны для работы на диапазонах 160 и 80 м. В таком случае можно запитать мачту через согласующее устройство. Если высота мачты менее $1/4$, то используют антенну на ВЧ диапазоны в качестве емкостной нагрузки и, добавляя горизонтальную часть, расположенную у вершины мачты, увеличивают электрическую длину антенны для работы на НЧ диапазонах.

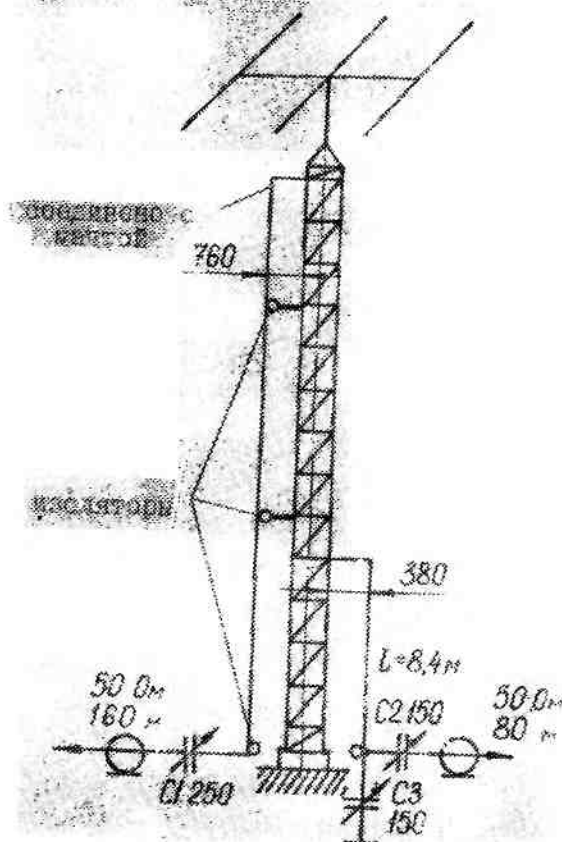


Рис. 34

Один из таких вариантов запитки предложил Е. Капнигхэм (W5KTO) (26), рис. 34. На диапазоне 80 м мачта запитана через омега-согласующее устройство, а на 160 м через параллельную мачте проволочную линию, которая является гамма-согласованием для этого диапазона. Данные емкостей, используемых в системах согласования, ориентировочные, и в зависимости от антенны, находящейся наверху, и высоты мачты, могут изменяться. Это следует учесть при настройке. Учитывая, что в омега-согласующем устройстве возникает пучность тока, применяемые конденсаторы должны быть на это рассчитаны. Основание мачты должно быть надежно заземлено, т. к. это определяет эффективность данной системы.

* Другая антенна для работы на 160-метровом диапазоне была предложена радиолюбителем (WICER) (21) (рис. 35. Выполняя гамма-согласование, как пока-

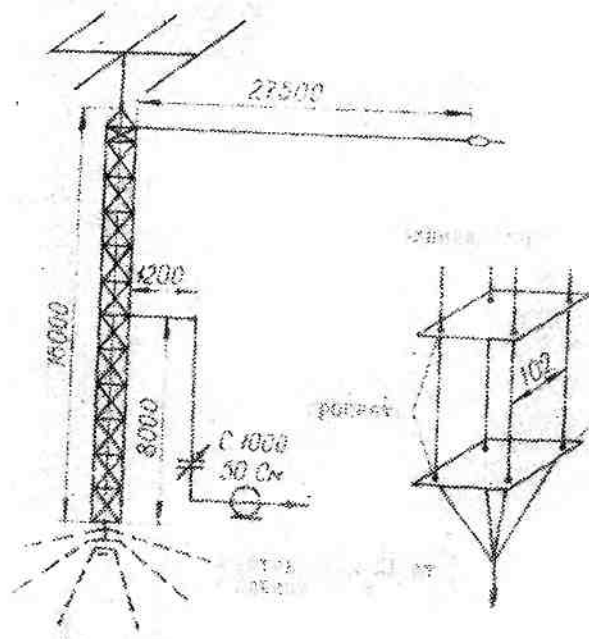


Рис. 35

зано на рисунке, антенна имеет значение КСВ не более 2 в полосе 50 кГц, в противном случае полоса сужается до 10 кГц, что создает большие неудобства при работе.

Гамма и омега-согласования выполнены из алюминиевого провода $\varnothing$ 2—4 мм. Медный провод применяется только для выполнения удлиняющей горизонтальной части. Если у вас антенная мачта другой длины, можно воспользоваться методикой расчета гамма-согласующего устройства, подробно описанной Де Мау в журнале "QST" март, 1982, стр. 49—50.

Возвращаясь к системе заземления, следует сказать, что многие авторы рекомендуют закапывать в землю проводники длиной $1/4$ — это значительно улучшает работу антенны.

* Еще один из вариантов шунтового питания мачты предложил М. Фегдман (K16 DL). Антенна предназначена для работы на 160-метровом диапазоне и показана на рис. 36. Другие варианты шунтовой запитки антенны

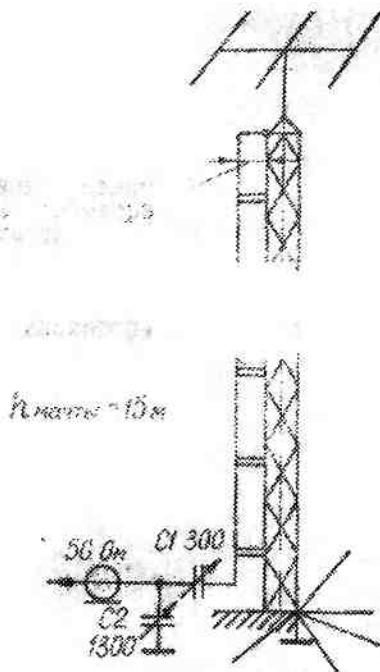


Рис. 36

мачты для работы на 160 м показаны на рис. 37, 38.

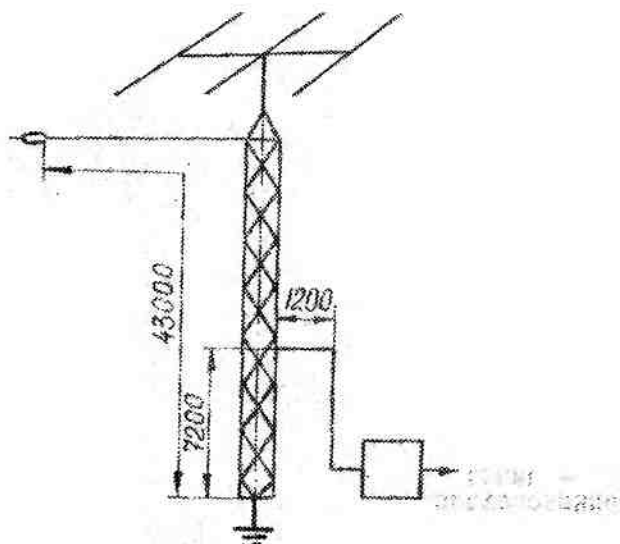


Рис. 37

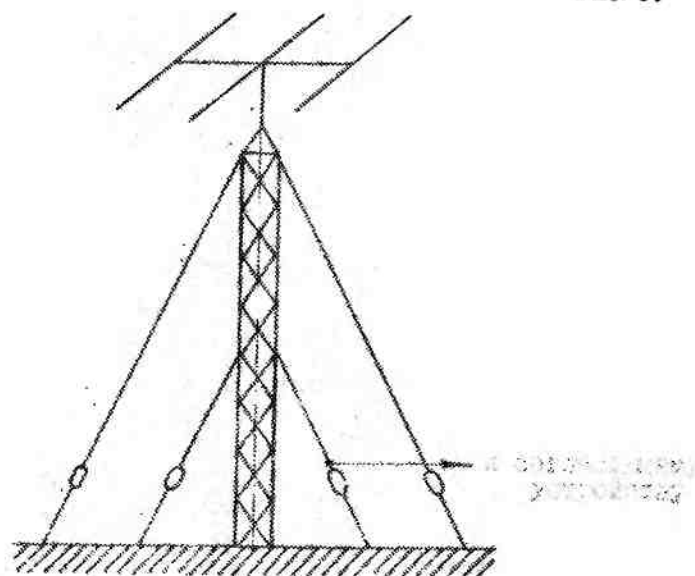


Рис. 38

УКОРОЧЕННАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ДИАПАЗОНА 40 МЕТРОВ

Описываемая ниже конструкция была самой первой из множества укороченных антенн созданных Джерри Севигом, W2FMI (2) и идея ее создания возникла, когда автор увидел большой пляжный зонтик подходящих размеров.

Поскольку все элементы крепления были из алюминиевого сплава и представляли собой готовую конструкцию с емкостным нагрузочным элементом на вершине антенны, то оставалось только настроить ее в резонанс и согласовать входное сопротивление. Для настройки в резонанс вертикальный элемент антенны был разрезан на высоте около 1 м от земли и на вставленной изолирующей секции была намотана катушка индуктивности (14 витков).

На рисунке 39 приводятся размеры антенны и способ

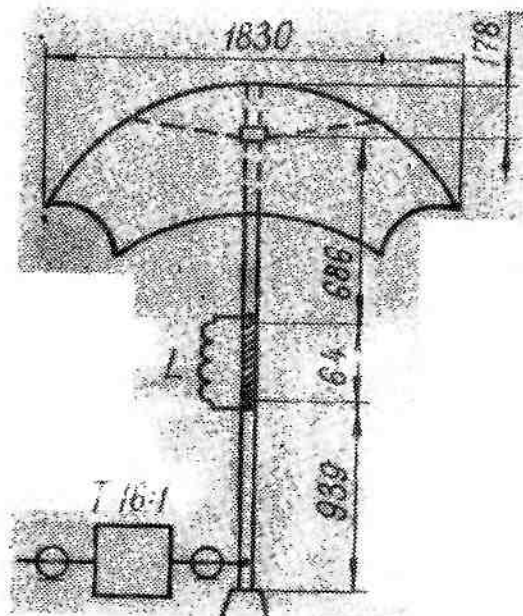


Рис. 39

подключения катушки индуктивности. Входное сопротивление антенны оказалось 3,5 Ом, что позволило легко согласовать входное сопротивление с линией питания 50 Ом посредством широкополосного трансформатора с Ктр 1:16.

Описание трансформатора приводилось выше, в главе I. С использованием эффективной системы противовесов антенна показывала хорошие результаты и стала прототипом дальнейших разработок подобных антенн.

ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА УКРОЧЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕНН

ДЛЯ ДИАПАЗОНОВ 20, 40 И 80 МЕТРОВ (3)

Система состоит из укороченного штыря для диапазона 80 м и штыря для двух диапазонов 40 и 20 м с использованием фильтра-пробки (трапа).

Настройка в резонанс и компенсация реактивных составляющих достигается с помощью катушек индуктивности, включенных в основании антенны и емкостных нагрузок, выполненных в виде 4—6 радиальных элементов, установленных на вершине антенны. Входное сопротивление этих антенн 12,5 Ом, поэтому для их подключения к коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом необходим согласующий трансформатор 1:4 (описание такого трансформатора дается в главе I). Для обеих антенн используется одна система противовесов, которая состоит из 100 радиальных проводников длиной по 15 м. Можно использовать и более простую систему противовесов (см. главу I).

Размеры антенн приводятся на рис. 40. Данные кату-

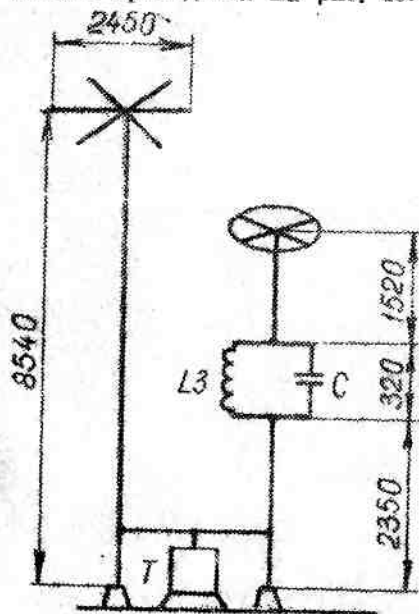


Рис. 40

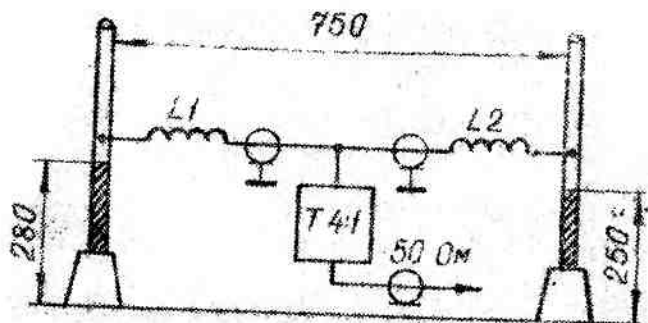


Рис. 40 а
 шек индуктивности приводятся в таблице 6. Настройка
 Таблица 6

1	Диапазон 20 м. Катушка L ₂ — 5,5 витков. Длина вертикальной секции — 20 м.
2	Диапазон 40 м. Катушка L ₂ — 5,5 витков. Длина вертикальной секции — 20 м.
3	Диапазон 80 м. Катушка L ₂ — 5,5 витков. Длина вертикальной секции — 20 м.

антенной системы производится в следующем порядке:

- штырь 80 м — по минимуму КСВ подобрать необходимое количество витков катушки L_2 ;
- штырь 40/20 м — настройка производится изменением числа витков катушки L_2 и изменением длины вертикальных элементов.

Настройка начинается с диапазона 20 м. Катушка L_2 подключается в точке 5,5 витков и подстраивается по минимуму КСВ. Для согласования можно увеличить число витков L_2 или уменьшать длину вертикальной секции 20 м. После чего настраивается диапазон 40 м. Для этого изменяют длину верхней секции. Если резонансная частота оказывается слишком низкой, необходимо укоротить верхнюю секцию. Укорачивать следует небольшими частями по 1-2 см. Если входное сопротивление

ние оказывается слишком низким, то необходимо удлинить катушку секции 20 м, но при этом процедуру настройки придется повторить сначала.

При желании любую из этих антенн можно устанавливать отдельно.

УКОРОЧЕННАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ДВУХ ДИАПАЗОНОВ 160 и 80 МЕТРОВ

На рис 41 показана двухдиапазонная укорочен-

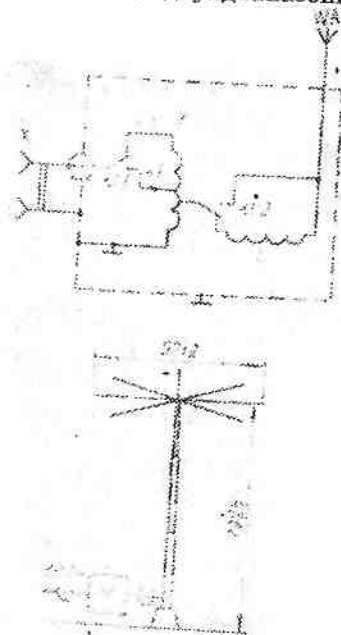


Рис. 41

ная антенна с дистанционным переключением диапазонов. Причем переключаются не только отводы широкополосного согласующего трансформатора, но и подключается нагрузочная катушка индуктивности на диапазоне 160 м.

Описание трансформатора уже приводилось выше (см. главу I), а катушка индуктивности может быть изготовлена одним из следующих способов:

а) Необходимо 4 тороидальных кольца с внешним диаметром 5 см. ($\epsilon = 10$). Каждое кольцо обматывается несколькими слоями изоляционной ленты отдельно, а затем кольца складываются и еще раз обматываются вместе. Для достижения необходимой индуктивности (около 30 мкГн) необходимо намотать 22,5 витка проводом $\varnothing$ 1,6 мм.

б) Если нет необходимых колец, то можно применить бескаркасную катушку индуктивности, размеры которой будут несколько большими. Такая катушка содержит 33 витка проводом $\varnothing$ 2 мм. Диаметр катушки 65 мм, длина намотки 140 мм.

Для компенсации реактивной составляющей применен емкостной нагрузочный элемент, который выполнен в виде шести радиальных проводников (трубок), укрепленных на вершине антенны. Питание осуществляется коаксиальным кабелем 50 Ом через согласующее устройство. Размеры элементов и схема согласующего устройства даются на рис. 41.

Глава IV СИСТЕМЫ ФАЗИРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Данный раздел описывает достаточно сложные системы, для понимания работы которых требуются дополнительные пояснения. Очень часто в наших расчетах и рассуждениях фигурирует входное сопротивление антенны Z_{ax} . Входное сопротивление антенны определяется отношением напряжения к току на ее входных клеммах. Обычно полное входное сопротивление (импеданс) антенны комплексное и может быть записано в виде:

$$Z_{ax} = R_{ax} + jX_{ax};$$

где R — активная часть входного сопротивления, X — его реактивная часть.

Входное сопротивление антенны может быть изображено следующей эквивалентной схемой:

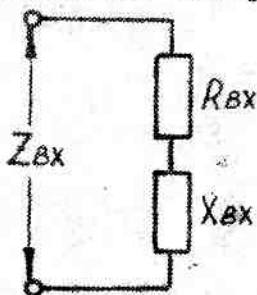


Рис. 42

Активная часть входного сопротивления антенны R_{ax} определяется суммой сопротивления излучения антенны $R_{изл}$ и сопротивления потерь R_n .

$$R_{ax} = R_{изл} + R_n;$$

В данном случае, сопротивление потерь будет определяться проводимостью земли или качеством «искусственной земли» и наличием вблизи антенны предметов, поглощающих электромагнитное поле. Например, деревьев или строений.

Реактивная часть входного сопротивления антенны $X_{вх}$ характеризует ту часть электромагнитного поля, которая сосредоточена вблизи антенны и не излучается. Наличие $X_{вх}$ ведет к сдвигу фаз между входным напряжением и входным током. Так, если $X_{вх}$ отрицательно, т. е. имеет емкостный характер, $Z_{вх}$ может быть представлено схемой:

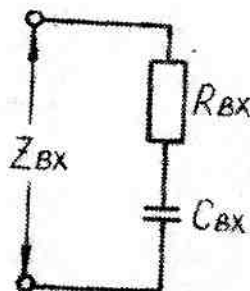


Рис. 43

В данном случае входной ток опережает по фазе входное напряжение.

Если же $X_{вх}$ положительно, т. е. имеет индуктивный характер, эквивалентная схема $X_{вх}$ выглядит так:

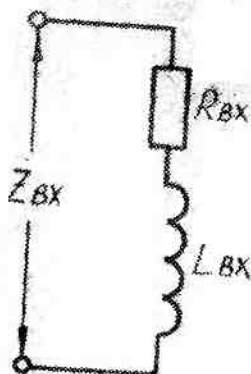


Рис. 44

В данном случае входной ток отстает по фазе от входного напряжения.

В дальнейшем, когда мы будем говорить о сдвиге фаз между излучателями, мы всегда будем иметь в виду сдвиг фаз входных токов.

Поскольку сдвиг фаз мы измеряем в градусах, удобно электрические длины линий питания также выражать в градусах. Зная, что на электрической длине 1λ изменяется на 360° , можно записать формулу для перевода длины из λ в градусы:

$$l^\circ = l(\lambda) 360^\circ,$$

где λ — длина волны, l° — длина волны в градусах, $l(\lambda)$ — длина волны в λ . И наоборот, для перевода длины из градусов в λ :

$$l(\lambda) = \frac{l^\circ}{360^\circ}$$

Одиночные вертикальные излучатели не обладают какой-либо направленностью в горизонтальной плоскости. Для формирования диаграмм направленности с ярко выраженными максимумами и минимумами применяют системы вертикальных излучателей. Диаграмма направленности системы определяется расстоянием между элементами и фазово-амплитудным распределением токов между ними. В данном разделе мы рассмотрим системы, где амплитудно-фазовое распределение токов между излучателями достигается непосредственным возбуждением каждого излучателя отдельной линией питания.

Направленные антенны с активным питанием излучателей особенно популярны на низкочастотных диапазонах, где близость земли, как правило, делает невозможным необходимое амплитудно-фазовое распределение токов в антеннах с пассивными элементами.

Существует распространенная ошибка при конструировании антенн с активным возбуждением элементов. Очень часто полагают, что разность электрических длин линий питания автоматически создает эквивалентную разность фаз. Это верно лишь в том случае, если линии питания нагружены чисто активно. Наличие реактивной составляющей в нагрузке создает дополнительный сдвиг фаз, который зачастую не учитывается. А между тем существует взаимное влияние между элементами антенны, которое ведет к изменению как реактивной, так и активной составляющих импедансов отдельных элементов. Характер этих изменений отражает взаимное сопротивление между элементами антенной системы. В таблице 7 (23) приводится взаимное сопротивление вертикалов над идеальной землей для расстояний от 0 до 1λ .

Таблица 7

Взаимное сопротивление четвертьволновых
вертикалов для расстояний от 0 до 1

Расстояние (λ)	Взаимное сопротивление (Ом)
0,00	36,3 + i 21,3
0,05	35,8 + i 12,1
0,10	33,7 + i 3,8
0,15	30,2 + i 3,6
0,20	25,7 + i 9,6
0,25	20,4 - i 14,2
0,30	14,6 - i 17,2
0,35	8,7 - i 18,7
0,40	3,1 - i 18,7
0,45	- 2,0 - i 17,4
0,50	- 6,3 - i 15,0
0,55	- 9,5 - i 11,7
0,60	- 11,7 - i 7,9
0,65	- 12,6 - i 4,0
0,70	- 12,4 - i 0,1
0,75	- 11,3 + i 3,3
0,80	- 9,3 + i 6,1
0,85	- 6,7 + i 8,2
0,90	- 3,8 + i 9,3
0,95	- 0,8 + i 9,5
1,00	+ 2,0 + i 8,9

Зная взаимное сопротивление и разность фаз между токами в элементах, можно рассчитать вносимое сопротивление, а затем, уже и входное сопротивление каждого элемента. Подробно с этими расчетами можно ознакомиться в работах американского радиолюбителя Гёрке, К 2 ВТ (23).

В некоторых случаях рассчитанные входные сопротив-

ления излучателей имеют отрицательную активную часть входного сопротивления. Это возможно только в системе из нескольких излучателей и только в случае непосредственного возбуждения каждого излучателя индивидуальной линией питания. Отрицательная активная часть входного сопротивления элемента антенной системы означает, что, данный элемент поглощает энергию излучения других элементов системы и возвращает ее в свою линию питания.

Рассмотрим один часто встречающийся случай: 2 вертикала высотой $\lambda/4$ на расстоянии $\lambda/4$ со сдвигом фаз 90° над «идеальной землей». Каждый из элементов сам по себе имел бы сопротивление $36,4 \text{ Ом}$.

Вносимое сопротивление для данного случая $Z_{\text{вн}} = 15 - j 15 \text{ Ом}$ и входное сопротивление элементов работающих в системе равно:

$$Z_{\text{вх1}} = 21,4 - j 15 \text{ Ом для элемента с фазой } 0^\circ;$$

$$Z_{\text{вх2}} = 51,4 + j 15 \text{ Ом для элемента с фазой } -90^\circ.$$

Этот значительный разбаланс импедансов очень осложняет ситуацию. Совершенно очевидно, что питание данной системы двумя коаксиальными линиями $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ с электрической разностью длин $\lambda/4$ не приведет к успеху. Делитель мощности Вилкинсона здесь также совершенно неприменим. Существует несколько методов, способствующих разрешению данной проблемы. Один из них предложил упоминавшийся ранее Герке, К 2 В Т.

Суть метода состоит в следующем: излучатели питаются линиями произвольной (но точно известной) длины. С учетом трансформирующих свойств этих линий пересчитываются импедансы излучателей и получающийся фазовый сдвиг токов на противоположных концах линий. Исходя из этих данных синтезируется согласующее устройство из элементов с сосредоточенными параметрами, которое обеспечивает дополнительный фазовый сдвиг, амплитудное распределение токов и согласование с линией передачи.

* На рис. 45 в качестве примера приведен метод Герке для случая четвертьволновых вертикалов на расстоянии $\lambda/4$ со сдвигом фаз 90° .

* Кристмэн, К В 8 I (3) (24) предложил свой принципиально отличный метод амплитудно-фазового распределения токов между элементами антенны. Кристмэн исходит из того, что соответственное амплитудно-фазовое распределение токов уже существует. Он просчитывает

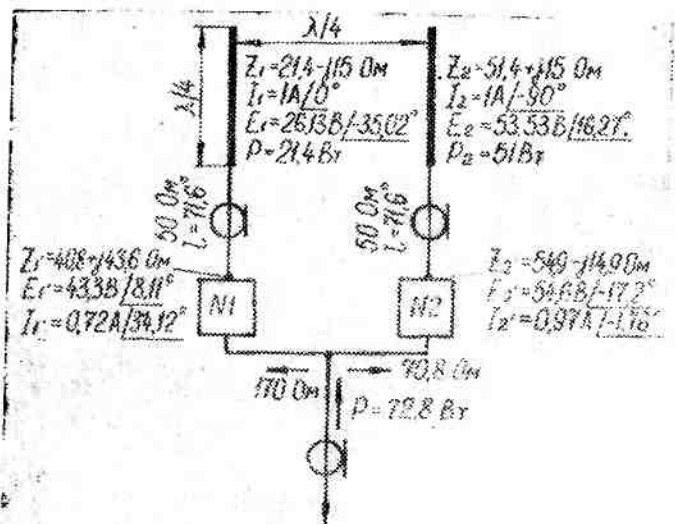


Рис. 45

напряжение вдоль линий питания и находит точки максимального совпадения напряжений. В этих точках линии соединяются параллельно. Так как импеданс линий в этой точке соединения может иметь значительную реактивную составляющую, необходимо согласующее устройство с общей линией питания.

Для нашего случая двух четвертьволновых вертикалов на расстоянии $\lambda/4$, со сдвигом фаз 90° , запитанных 50 ом линиями питания током 1 А. Крестман обнаружил напряжение $V_1 = 48,21 + j 87,34 \text{ В}$ в точке $0,2333 \lambda$ от элемента с фазой 0° и $V_2 = 48,64 - j 87,53 \text{ В}$ в точке $0,4472 \lambda$ от второго элемента с фазой -90° . Отметим, что электрическая разность линий $0,214 \lambda$, а отнюдь не $0,25 \lambda$. Суммарный импеданс линий в точке соединения $Z = 26,9 + j 12,1 \text{ Ом}$. Этот вариант и четыре способа согласования для диапазо на 80 м приведены на рис. 46.

* Основой для своего метода амплитудно-фазового распределения токов Коллинз, (WIFC) (4) выбрал очень специфичное свойство четвертьволновой питающей линии: амплитуда входного тока четвертьволновой линии равна выходному напряжению деленному на характеристическое сопротивление линии, и не зависит от сопротивления нагрузки. Фаза входного тока при этом опережает

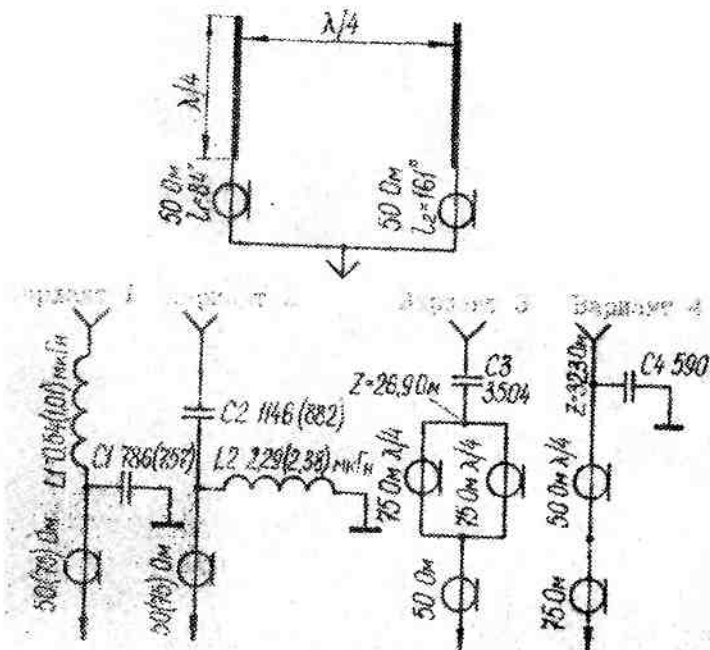


Рис. 46

фазу выходного напряжения на 90° , что также не зависит от сопротивления нагрузки.

Для соответствующего сдвига фаз напряжений Коллииз предлагает цепь, изображенную на рис. 47.

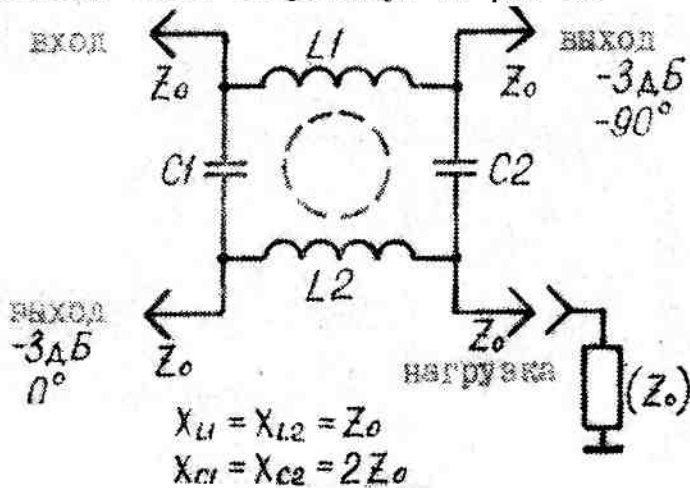


Рис. 47

WTEL (5), решая ту же задачу (рис. 48), применяет

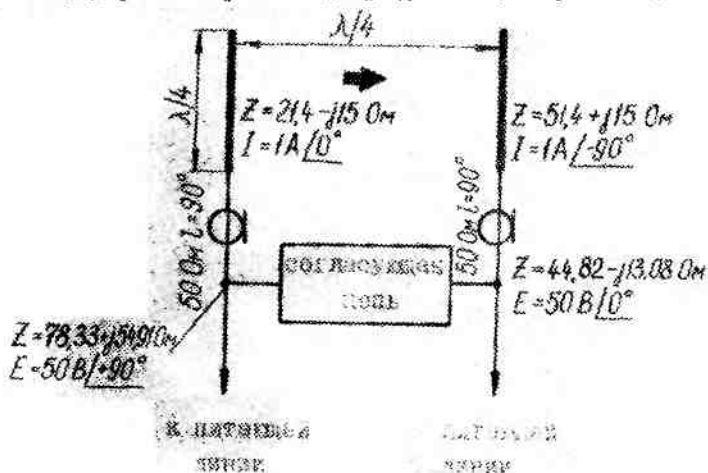


Рис. 48

Другие цепи для амплитудного распределения напряжений (рис. 49).

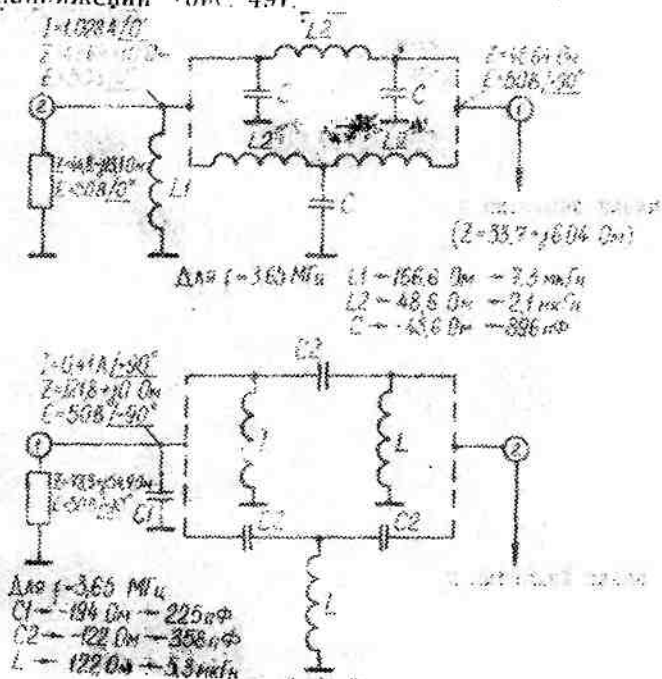


Рис. 49

Основываясь на этих данных, различными авторами были созданы практические конструкции фазированных вертикалов. Эти конструкции учитывают взаимное влияние излучателей. Следует подчеркнуть, что высота вертикалов для нижеприведенных конструкций должна быть в пределах $0,2 - 0,3 \lambda$. Идеальный случай, когда вертикалы резонируют на рабочей частоте без применения удлиняющих или укорачивающих устройств.

1. Два вертикала высотой $\lambda/4$ на расстоянии $\lambda/4$ со сдвигом фаз 90° .

Данная система обладает усилением 3 Дб по отношению к одиночному вертикалу.

Для элемента с фазой 0° $Z_{ex} = 21,4 - i 15 \text{ Ом}$.
 Для элементов с фазой -90° $Z_{ex} = 51,4 + i 15 \text{ Ом}$.

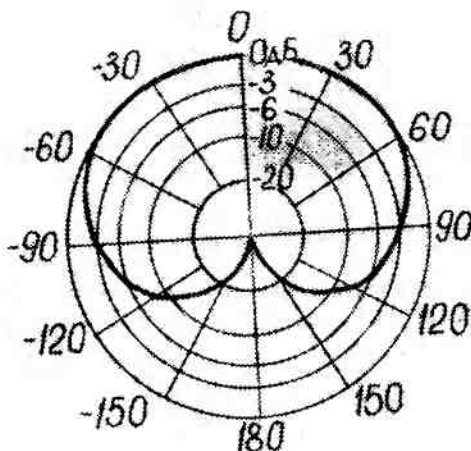


Рис. 50

На рис. 50 изображена диаграмма направленности системы.

Рис. 51 демонстрирует метод Герке. Данные L и C рассчитаны для диапазона 80 м. Переключением реле осуществляется изменение диаграммы направленности на 180° .

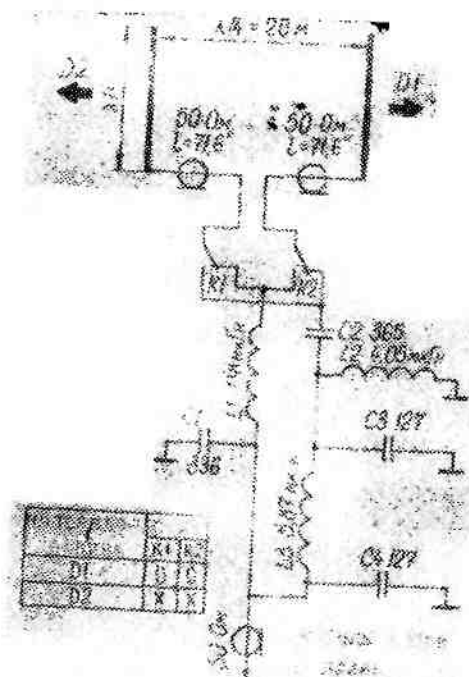


Рис. 51

Практическая реализация метода Криммэна показана на рис. 52 и 53. Еще раз отметим, что электрическая разность длин питающих линий равна 73° или $0,214 \lambda$. Приведенные L и C согласуют систему в диапазоне 80 м.

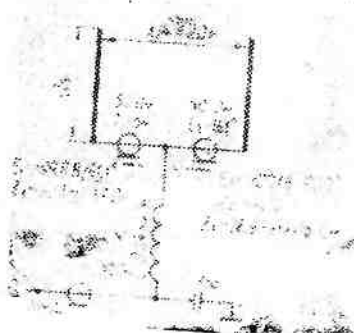


Рис. 52

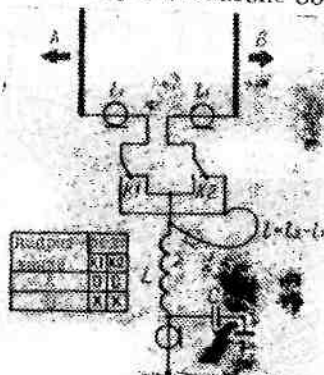
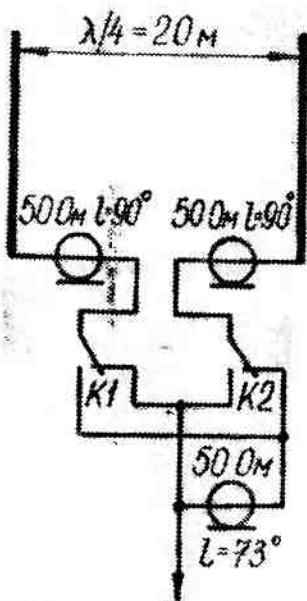


Рис. 53

Рисунок 54 иллюстрирует комбинированный метод токораспределения для данной системы. Для согласования со стандартной линией питания требуется дополнительная L C цепь. Направление излучения переключается с помощью реле.



К согласующей цепи. 54

На рис. 55 изображена антенная система, реализованная по методу Коллинза. Система позволяет помимо противоположных направлений А и В реализовать и двунаправленную диаграмму в перпендикулярных направлениях с усилением 0,9 дБ при подавлении боковых лепестков на 3 дБ. Данная диаграмма реализуется посредством включения обеих линий питания параллельно. Входное сопротивление излучателей в этом случае равно $51,4 - j 14$ Ом. На концах четвертьволновых линий это сопротивление трансформируется в $44,8 + j 13,1$ Ом. При включении линий параллельно, импеданс составляет $22,4 + j 6,54$ Ом, поэтому требуется дополнительная цепь согласования. Данные L C на рисунке справедливы для диапазона 80 м.

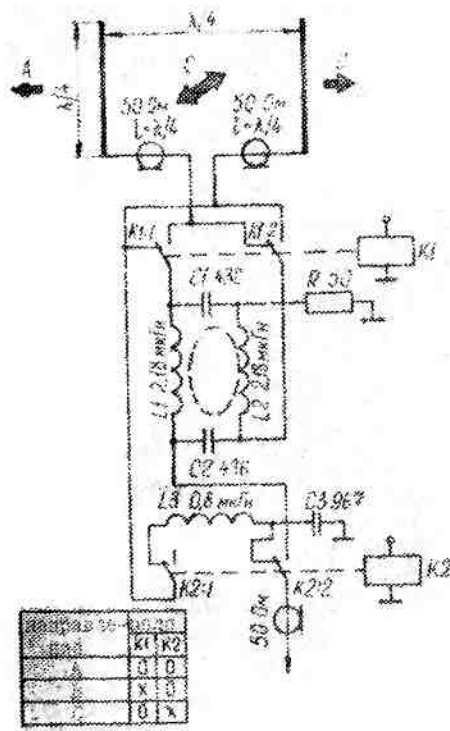
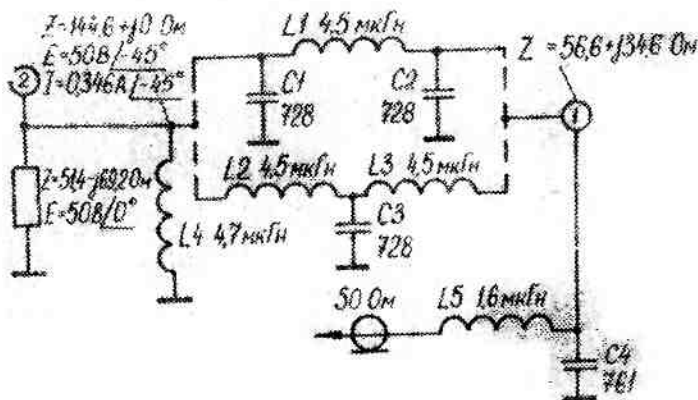
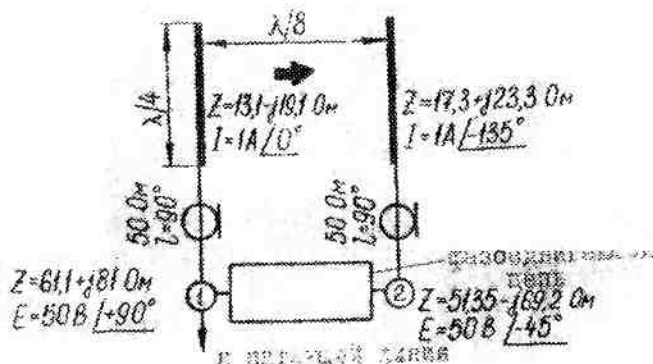


Рис. 55

2. Два вертикала высотой $\lambda/4$ на расстоянии $\lambda/8$ с разностью фаз 135° . Данная система обладает усилением 4,4 дБ.

(Взаимное сопротивление для данного случая $Z_{12} = 30 - j 3$) Ом. Для излучателя с фазой 0° входное сопротивление равно ($13,1 - j 19,1$) Ом. Для излучателя с фазой -135° входное сопротивление равно ($17,3 + j 23,3$) Ом.

Рис. 56 демонстрирует метод W7EL для данного случая. L и C даны для диапазона 80 м.



Метод Констмэна (рис. 56) позволяет обойтись без

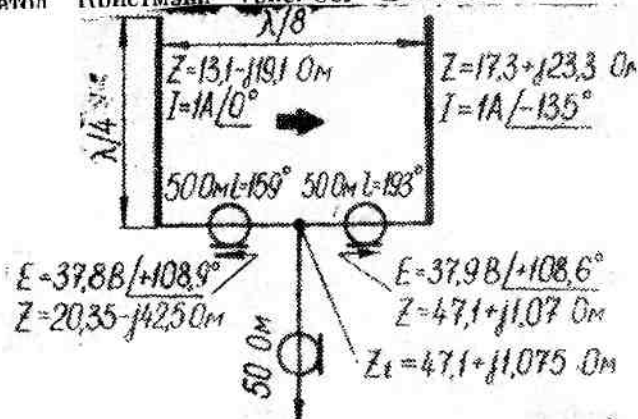


Рис. 56

элементов с сосредоточенными параметрами, г. к. в точке соединения линий суммарный импеданс составляет $(47,1 + j 1) \text{ Ом}$, что дает возможность применить непосредственно 50-омную коаксиальную линию.

3. Два синфазных четвертьволновых вертикала на расстоянии $\lambda/2$. Усиление данной системы около 4 дБ по отношению к одиночному вертикалу.

Взаимное сопротивление

$$Z_{12} = -j 13 \text{ Ом.}$$

Реализацию данной системы и четыре метода согласования можно увидеть на рис. 57. Значения величин L и C указаны для диапазона 80 м.

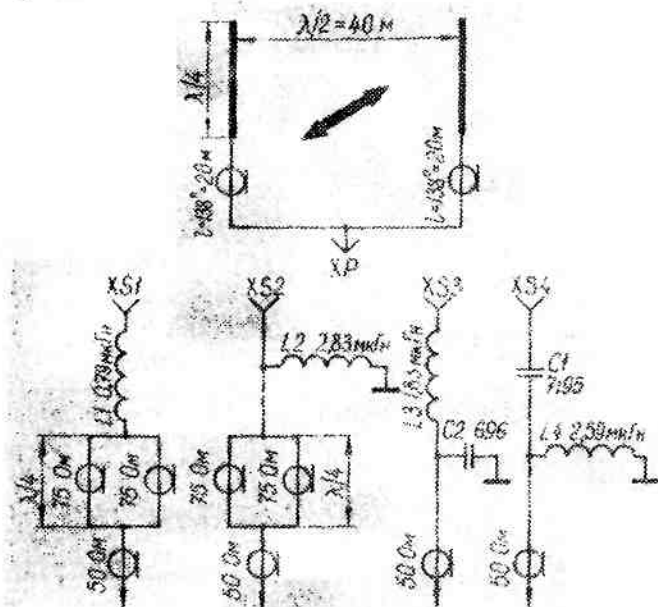


Рис. 57

В случае, если излучатели отличаются друг от друга (высотой, диаметром и т. д.), лучше применить вариант, приведенный на рис. 58. В этом случае излучатели питаются линиями одинаковой длины, кратной нечетному числу четвертей λ . Величины L и C даны для диапазона 80 м.

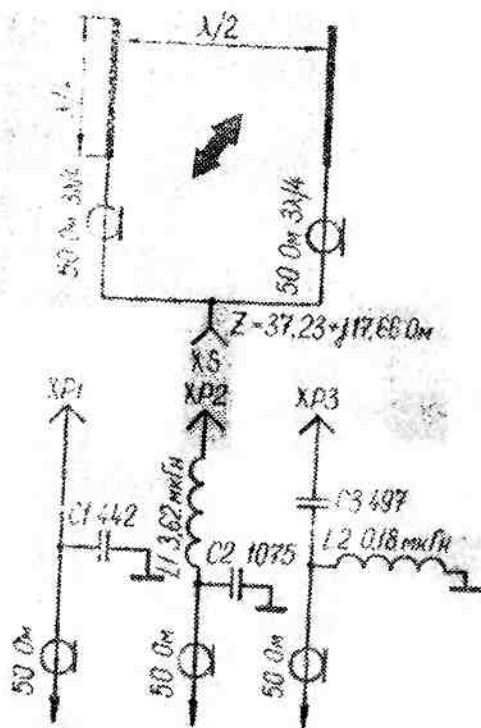


Рис. 58

4. Два противофазных вертикала высотой $\lambda/4$ на расстоянии $\lambda/2$.

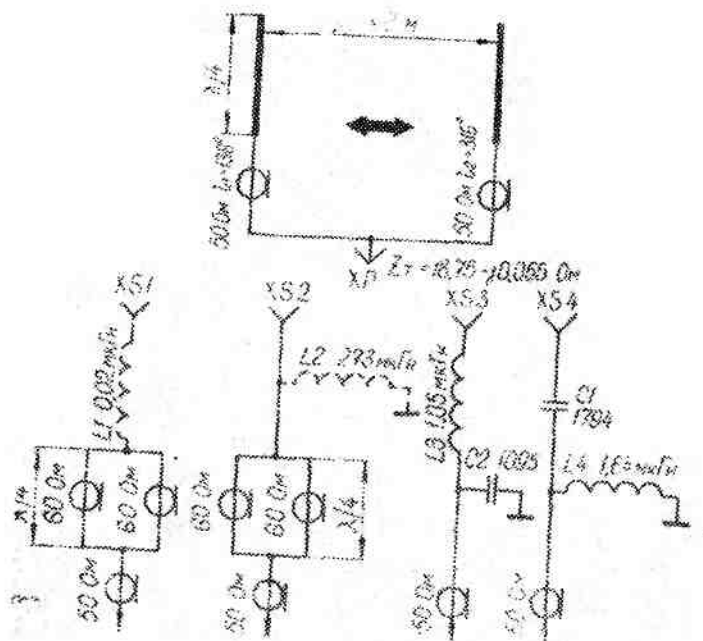


Рис. 59

Усиление антенны около 4 дБ, взаимное сопротивление $Z_{\text{вз}} = 9 - j13 \text{ Ом}$, входное сопротивление излучателей $Z_{\text{вх}} = 45,4 + j13 \text{ Ом}$.

Данная антенна представлена на рис. 59. Здесь же приведены 4 варианта согласования для диапазона 80 м.

В случае различия вертикалов рекомендуется вариант на рис. 60. Величины L и C приведены для диапазона 80 м.

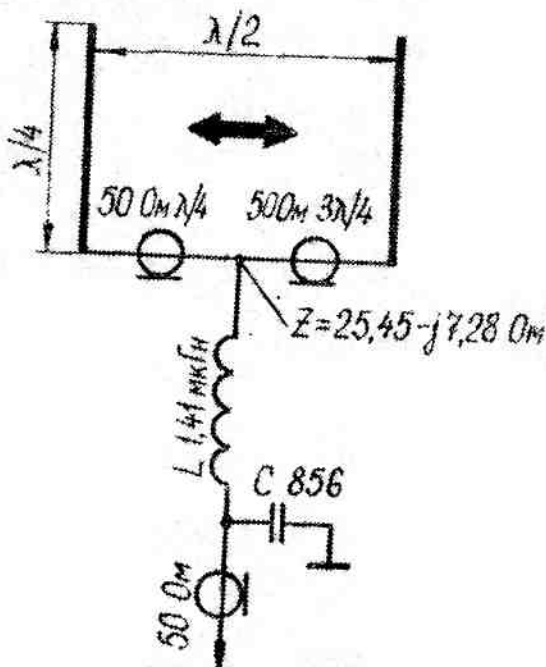


Рис. 60

Комбинируя данный вариант с вариантом синфазных вертикалов получаем две взаимно перпендикулярные диаграммы направленности (рис. 61). Значения величин L и C даны для диапазона 80 м.

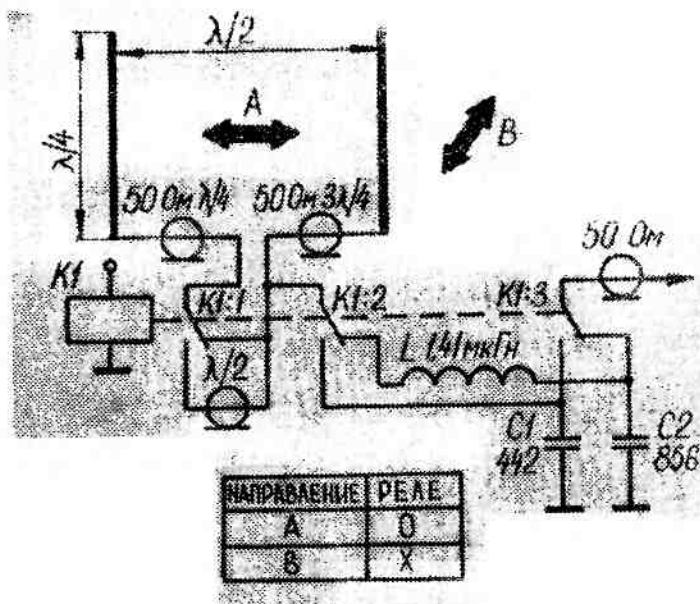


Рис. 61

5. Три четвертьволновых вертикала на одной линии на расстоянии $\lambda/4$ друг от друга.

Сдвиг фаз между соседними элементами 90° . Усиление антенны — 5 дБ по отношению к одиночному вертикалу. На рис. 62 приведены распределение токов между излучателями и диаграмма направленности антенны.

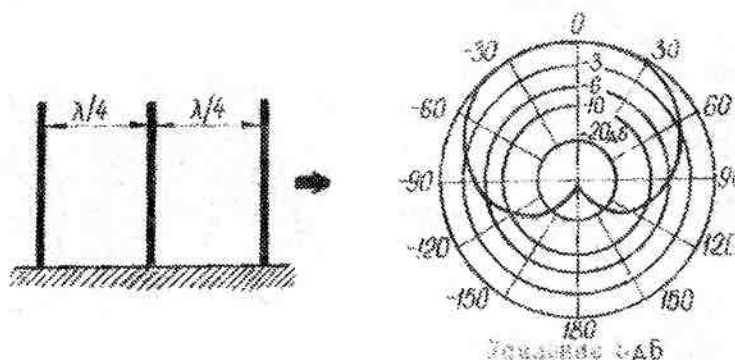


Рис. 62

Взаимное сопротивление между соседними излучателями равно $15 - j 15$ Ом. Взаимное сопротивление между крайними элементами равно $9 - j 13$ Ом. С учетом этого входные сопротивления элементов равны:

$$\begin{aligned} \text{элемента с фазой } 0^\circ & Z_{вх} = 15,4 - j 17 \text{ Ом} \\ \text{элемента с фазой } -90^\circ & Z_{вх} = 36,2 + j 10 \text{ Ом} \\ \text{элемента с фазой } -180^\circ & Z_{вх} = 75,4 + j 43 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Рис. 63 демонстрирует метод Кристмэна для данной антенной системы. С помощью реле диаграмма направленности переключается на 180° . Значения L и C справедливы для диапазона 80 м.

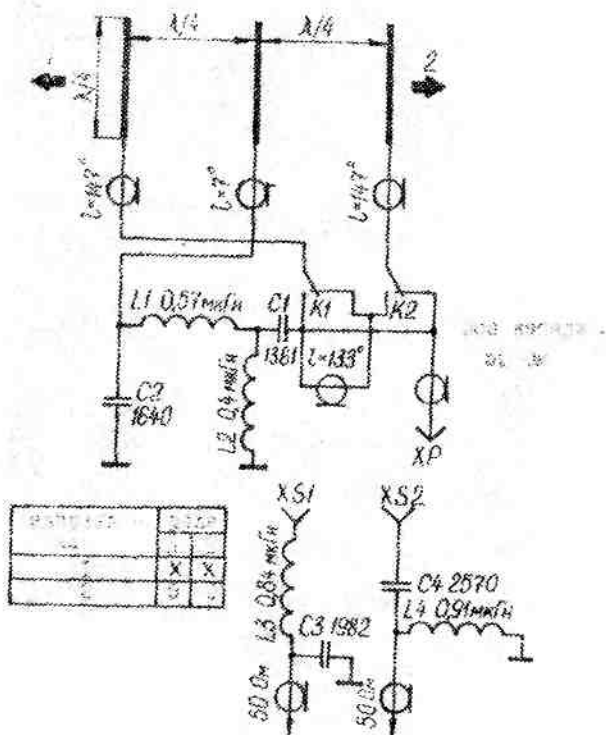


Рис. 63

Метод Герке продемонстрирован на рис. 64. Это однонаправленный вариант антенны. Как и ранее, значения L и C рассчитаны на диапазон 80 м.

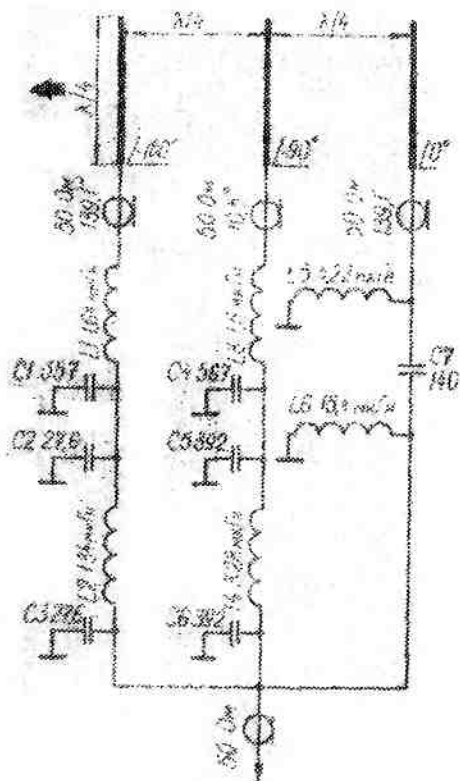


Рис. 64

Метод Коллинза изображен на рис. 65, катушки намотаны на ферритовом кольце с малой начальной магнитной проницаемостью ВЧ—20, ВЧ—50 и др. Типоразмер выбирают, исходя из мощности передатчика.

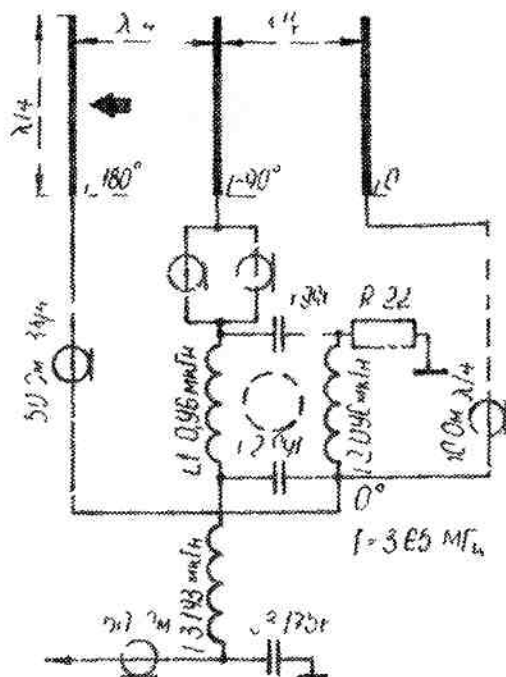


Рис. 65

Запитка антенны по методу W7II приведена на рис 66.

Для диапазона 80 м $L_{1,2} = 0,75$ мкГ, $C_{1,2} = 2526$ пф

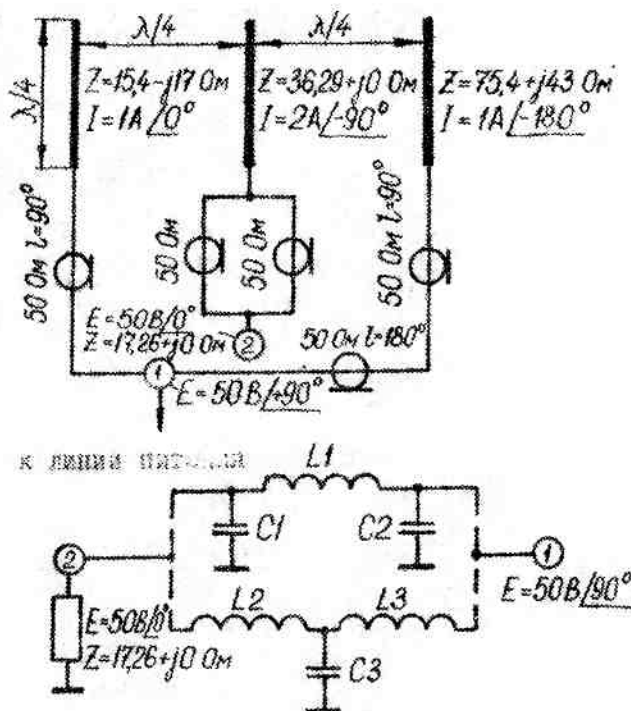


Рис. 66

6. Четыре вертикала высотой $\lambda/4$ в углах квадрата с стороной $\lambda/4$ и сдвигом фаз 90° . Схема расположения элементов и диаграмма направленности изображены на рис. 67.

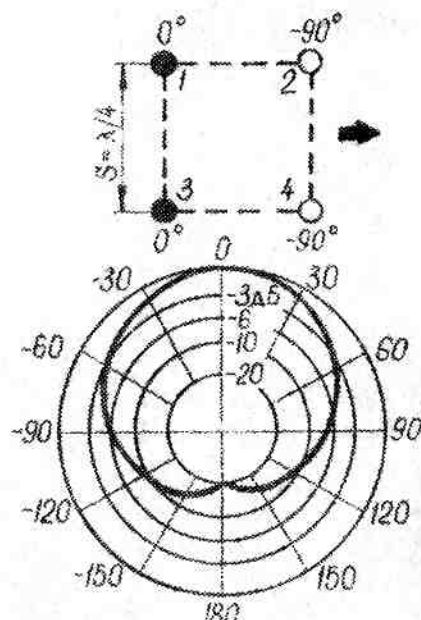


Рис. 67

Усиление антенны 7 дБ по отношению к одиночному вертикалу.

Амплитуды токов равны для всех излучателей. Взаимное сопротивление для элементов с фазой 0° $Z_{вз.} = 15 - j15$ Ом, для элементов с фазой -90° $Z_{вз.} = 3 - j17,5$ Ом. Входное сопротивление для элементов с фазой 0° $Z_{вх.} = 18,9 - j33$ Ом, для элементов с фазой -90° $Z_{вх.} = 83,9 + j3$ Ом.

Модифицированный вариант запитки по методу Кристмана и Герке приведен на рис. 68. Данные реактивностей приводятся для диапазона 80 м.

На рис. 69 изображен метод Коллинза для данной антенны. Обратите внимание, что параметры L и C для диапазона 80 м в данном случае отличны от варианта с двумя вертикалами.

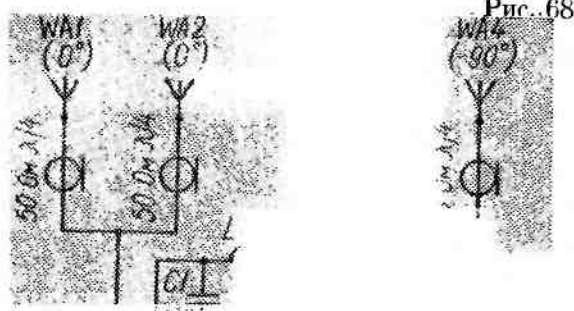
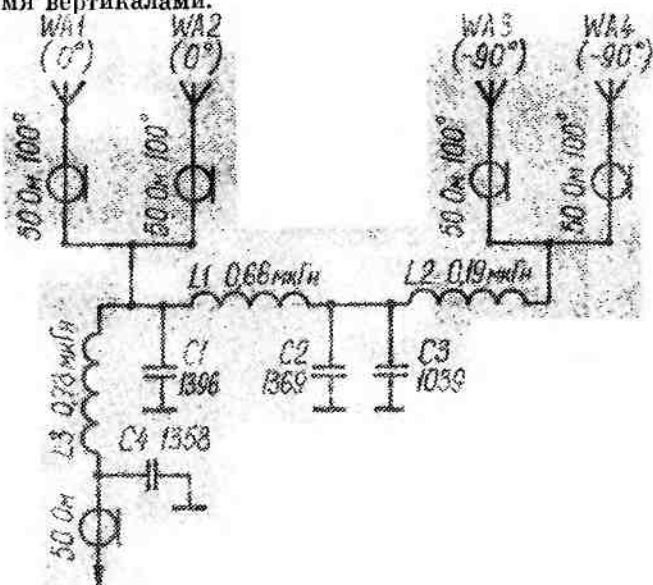


Рис. 68

Рисунок 70 являет собой метод W7E1 для данного случая. Здесь также реактивности отличаются от двух-элементного варианта.

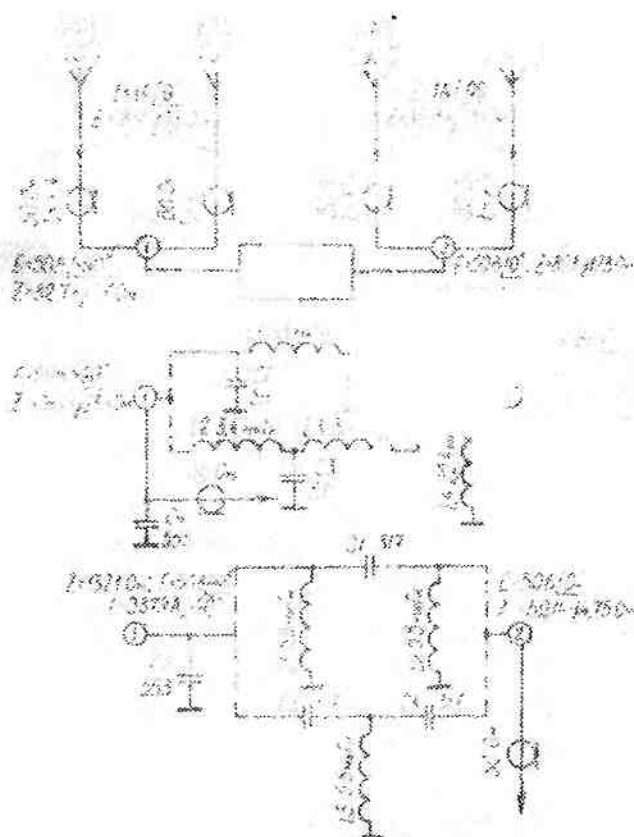


Рис. 70

7. Четыре вертикала высотой $\lambda/4$ в углах квадрата со стороной $\lambda/4$ с максимумом излучения по диагоналям квадрата. Усиление антенны 7 дБ по отношению к одиночному вертикалу.

Все излучатели питаются токами равной амплитуды.

Входное сопротивление излучателей:

для элемента с фазой 0° — $Z_{ex} = 3,4 - j 12,5 \text{ Ом}$;

для элементов с фазой -90° $Z_{ex} = 39,4 - j 17,5 \text{ Ом}$;

для элемента с фазой -180° $Z_{ex} = 63,4 + j 47,5 \text{ Ом}$.

Рис. 71 демонстрирует метод Кристмэна для этой системы. L и C справедливы для диапазона 80 м. С помощью реле максимум излучения переключается на четыре направления. Электрическая длина 50-омных кабелей от реле к элементам равна 109° .

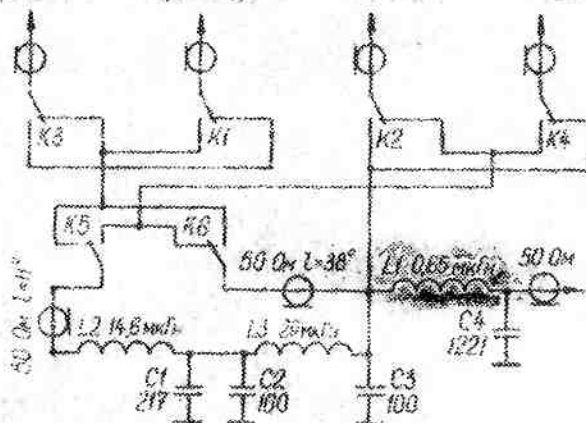
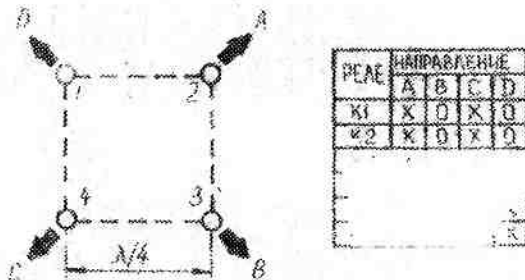


Рис. 71

Метод Герке изображен на рис. 72. Схема включения реле для этого метода аналогична схеме на рис. 71 (электрическая). Длина линий между реле и излучателями равна 100° . Величины L и C рассчитаны для диапазона 80 м.

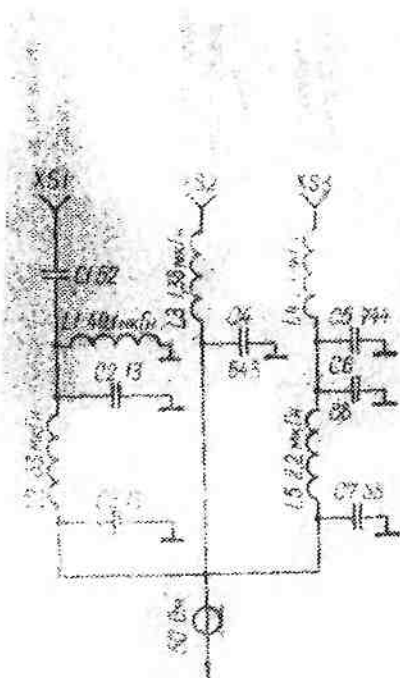


Рис. 72

Метод W7EL представлен на рис. 73. С помощью реле данная система легко превращается в переключаемую. Электрические длины линий питания должны быть $\lambda/4$ 3 / 4, 5 / 4 и т. д.

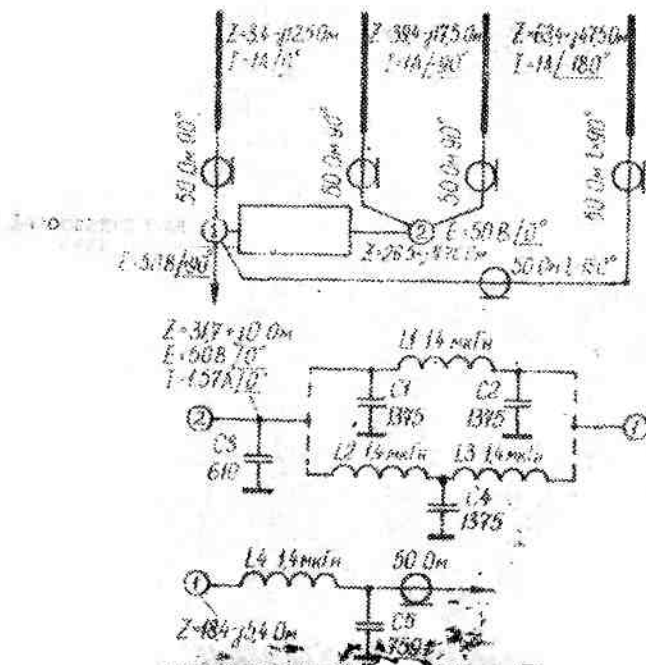


Рис. 73

Рисунок 74 иллюстрирует метод Коллиныза. Здесь применены линии питания 75 Ом с электрической длиной, кратной нечетному числу $\lambda/4$.

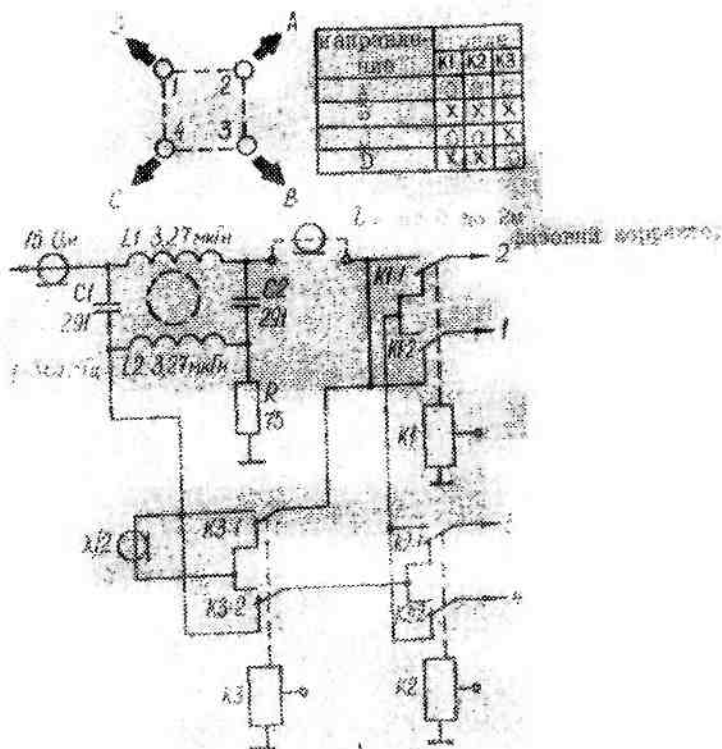


Рис. 74

8. Четыре вертикала высотой $\lambda/4$ в углах квадрата со стороной $\lambda/8$. Фазовое распределение токов и диаграммы направленности антенны представлены на рис. 75. Все элементы запитаны токами равной амплитуды. Герке утверждает, что усиление антенны больше чем у описанной выше.

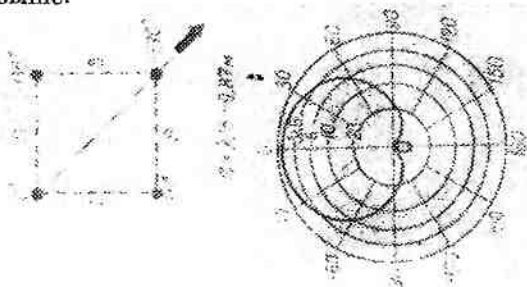


Рис. 75

Входное сопротивление излучателей для данной антенной системы:

для элемента с фазой 0° $Z_{ex} = -1,27 - j13,2$ Ом;

для элементов с фазой -135° $Z_{ex} = 18,9 - j33$ Ом;

для элемента с фазой -270° $Z_{ex} = -10,8 + j21,7$ Ом.

Знаки «—» в активной части импеданса не опечатка.

На рис. 76 приведен метод Герке для данного варианта. Электрические длины питающих линий равны 50° . L и C посчитаны для диапазона 80 м. Этот вариант заманчив для диапазона 160 м. В сочетании с вариантом, показанным на рис. 71, это может быть двухдиапазонная антенная система, т.е. линии питания и расстояния между элементами в этих случаях приблизительно равны.

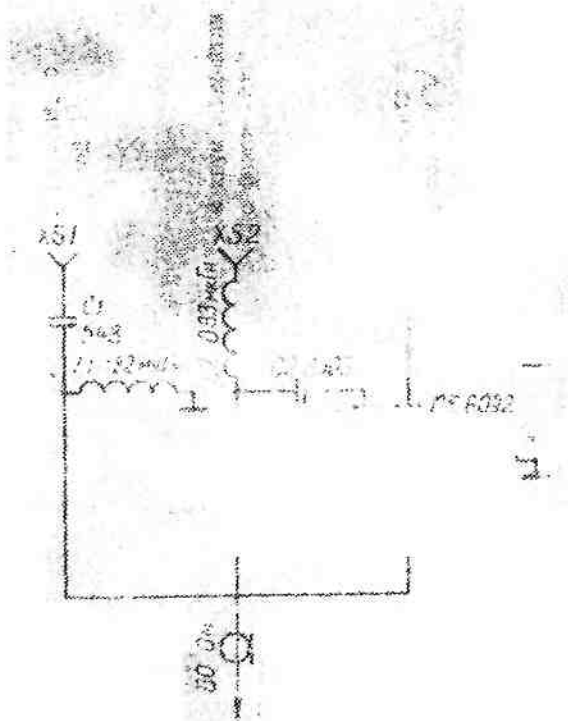


Рис. 76

Метод Кристмэна представлен на рис. 77. Для преобразования этого однонаправленного метода в переключаемый понадобится слишком много реле, что создает дополнительные сложности. L и C справедливы для диапазона 80 м.

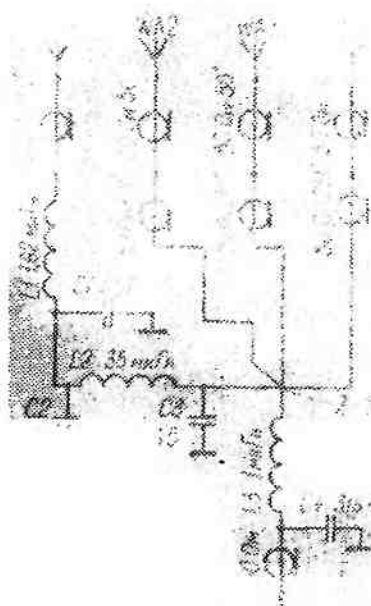


Рис. 77

Для реализации метода W7EL (рис. 7) требуется две фазосдвигающие цепи. Их схемы и значения L и C для диапазона 80 м приведены на рис. 79.

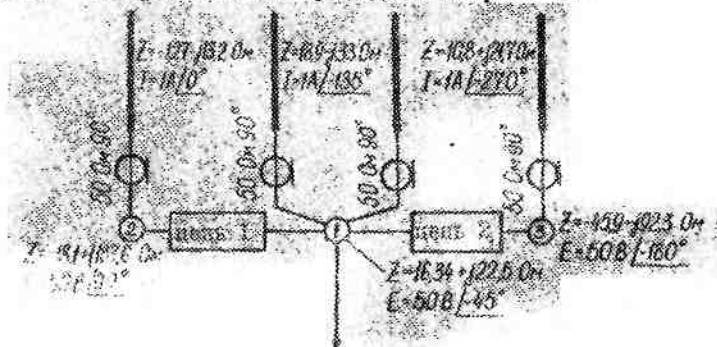


Рис. 78

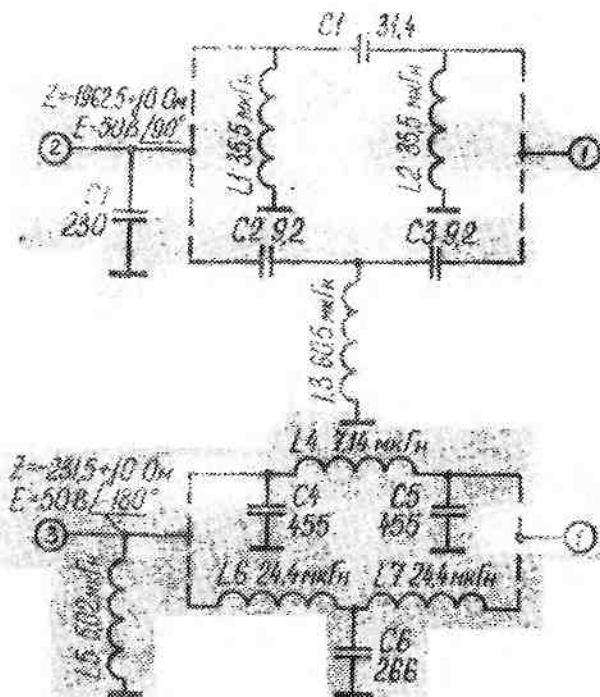


Рис. 79

Следует отметить особенность данной антенной системы: энергию на питающей линии потребляют только излучатели с фазой — 135° . Элементы с фазами 0° и 270° возвращают энергию в линию питания ввиду отрицательности активной части их входного сопротивления.

9. Три четвертьволновых вертикала в углах равностороннего треугольника со стороной $0,288 \lambda$.

Распоряжение и фазировка излучателей изображены на рис. 80. Здесь же приведены диаграммы направленности антенны для «идеальной» и «реальной» земли. Усиление антенны 5 дБ по отношению к одиночному вертикалу. Для такой широкой диаграммы направленности вполне достаточно трех переключаемых направлений. Однако в данном случае возможна реализация и шести направлений.

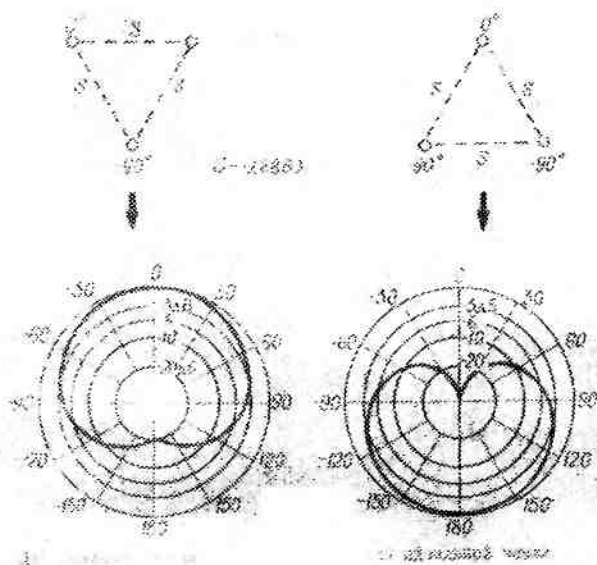


Рис. 80

Амплитуда токов в синфазных элементах равна половине амплитуды тока третьего элемента. Входное сопротивление элемента с фазой 0° $Z_{ex} = 20,4 - j 10 \text{ Ом}$, входное сопротивление элементов с фазой -90° $Z_{ex} = 78,4 + j 4 \text{ Ом}$.

Метод Герке для данной системы представлен на рисунке 81.

Приведенные L и C рассчитаны на диапазон 80 м.

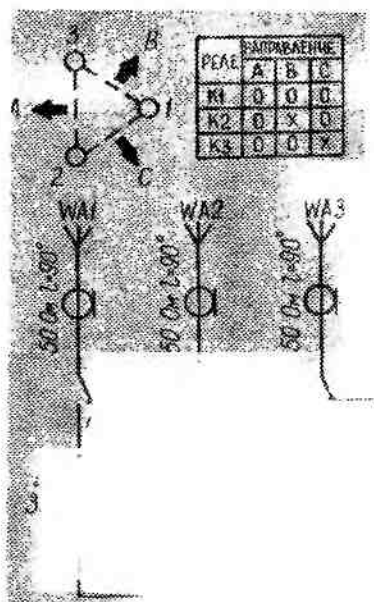


Рис. 81

Рисунок 82 иллюстрирует метод Кристмэна. Для реализации данного метода требуются лишь один конденсатор и одна катушка индуктивности, но для переключения направления максимума излучения необходимо шесть реле.

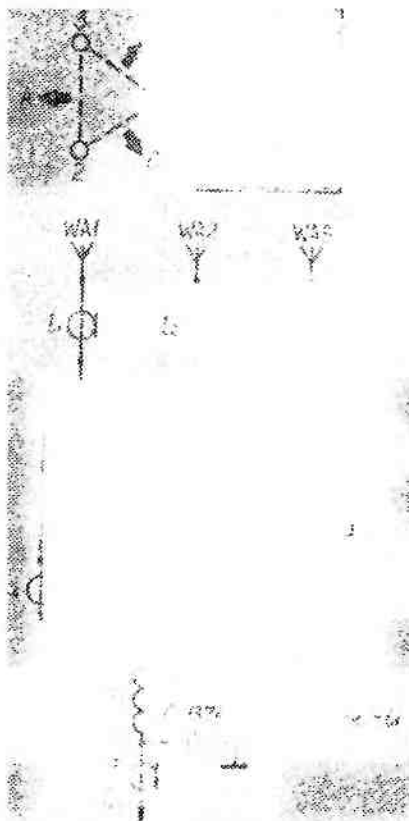


Рис. 82

Для изготовления антенн, описанных в этом разделе, приходится применять линии передачи определенной, точно известной электрической длины.

Для определения электрической длины линии передачи удобно использовать ее резонансные свойства. Известно, что четвертьволновая линия, замкнутая с конца на входе, ведет себя как параллельный колебательный контур с резонансом на частоте $F_{\text{рез}} = \frac{V}{\lambda}$ где V —

скорость распространения волны в линии, а λ — длина волны в линии.

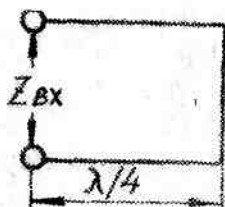


Рис. 83

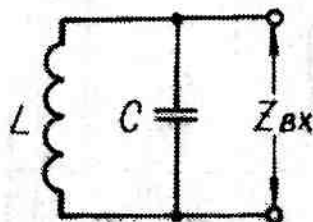


Рис. 84

Соотношение L и C определяется волновым сопротивлением линии.

Итак, четвертьволновая короткозамкнутая линия на частоте $F_{рез}$ будет иметь максимальное входное сопротивление.

Разомкнутая четвертьволновая линия вблизи резонанса будет иметь свойства последовательного колебательного контура и на резонансной частоте будет иметь минимальное входное сопротивление.

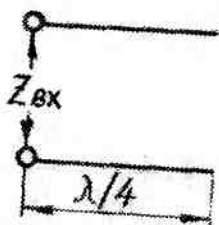


Рис. 85

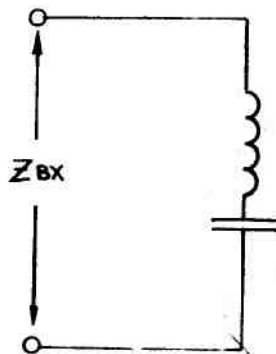


Рис. 86

Таким образом, с помощью генератора, частотомера и ВЧ вольтметра легко обнаружить частоту $F_{рез}$, для которой данная линия является четвертьволновой, т.е. будет иметь электрическую длину 90° для $F_{рез}$. При этом $F_{рез}$ определяют по максимуму показаний вольтметра для короткозамкнутой линии и по минимуму для разомкнутой линии, изменяя частоту генератора. Следует искать самый низкочастотный (первый) резонанс, т. к. вольтметр будет отмечать резонансы и для частот $3 F_{рез}$, $5 F_{рез}$ и т. д.

Эти резонансы на нечетных гармониках более острые, чем основной резонанс, поэтому для большей точности удобно измерять частоты гармонических резонансов.

Для измерения резонансов линий передачи часто применяют измерители частотных характеристик (И.Ч.Х.) XI—27, XI—38, XI—48 и другие. Высокоомную головку прибора включают на вход короткозамкнутой линии. Туда же через конденсатор емкостью $10 + 20$ пф подают сигнал генератора качающейся частоты данного И.Ч.Х.. Установив необходимый диапазон качания генератора, увидим на экране прибора непосредственно резонансную кривую исследуемой линии передачи. С помощью плавающей стоп-метки и частотомера легко измерить частоты резонансов.

Для того, чтобы убедиться, что мы имеем дело именно с резонансом исследуемой линии, а не с нелинейностью прибора и т. д. следует разомкнуть конец линии, при этом картинка на экране прибора должна перевернуться. Максимумы должны смениться минимумами и наоборот. Итак, мы можем измерить резонансы четвертьволновых линий передачи. Для частоты первого резонанса линия будет иметь электрическую длину 90° , для второго резонанса — 270° , для третьего — 450° и т. д.

Однако чаще приходится решать обратную задачу — подбирать определенную электрическую длину линии для известной частоты. Предположим нам нужно отмерить линию электрической длины l° для частоты F_1 .

Частоте F_1 в свободном пространстве соответствует длина волны

$$\lambda = \frac{C}{F_1} = \frac{300000 \text{ км·с}}{F_1 \text{ кГц}}$$

где C — скорость света в свободном пространстве.

Соответствующая частоте F_1 длина волны λ в линии передачи будет зависеть от диэлектрической проницаемости материала изоляции линии передачи. Чем больше диэлектрическая проницаемость изоляции, тем короче длина волны данной частоты. Введем коэффициент укорочения K :

$$K = \frac{\lambda}{\lambda'}$$

где λ — длина волны в свободном пространстве, λ' — длина волны в линии передачи для той же частоты.

В радиолюбительской практике чаще всего применяются

коаксиальные линии передачи с полиэтиленовой и тефлоновой изоляцией.

Для полиэтилена $K \approx 0,66$

Для тефлона $K \approx 0,69$

Итак, для частоты F_1 длина волны в линии λ' будет равна:

$$\lambda' = K \cdot \lambda$$

Физическую длину L электрической длины l° , для частоты F_1 в линии с изоляцией с коэффициентом укорочения K определим по формуле:

$$L = \frac{K \cdot \lambda' \cdot l^\circ}{360^\circ}$$

Для того, чтобы точно подобрать электрическую длину l° , отрезем кусок линии физической длины несколько большей чем L :

Рассчитаем частоту F_2 , для которой линия электрической длины l° (для F_1) будет четвертьволновой, т. е. электрической длиной 90° . Это можно сделать по формуле:

$$F_2 = \frac{F_1}{l^\circ} \cdot 90^\circ$$

Подсоединим нашу линию длиной чуть больше L к измерительной системе и измерим частоту первого резонанса. Эта частота должна быть чуть меньше F_2 . Затем постепенно укорачивая линию и замыкая центральную жилу с оплеткой, подгоняем резонанс линии к F_2 . Практически удобно замыкать оплетку с центральной жилой протыкая изоляцию иглой, и таким образом точно подобрав резонанс отрезать лишний кусок.

ВСЕ! Вы изготовили линию нужной электрической длины!

Пример:

Отмерим линию электрической длины $l^\circ = 73^\circ$ для частоты $F_1 = 3520$ кГц.

Длина волны λ в свободном пространстве для частоты 3520 кГц равна:

$$\lambda = \frac{300000 \text{ км/с}}{3520 \text{ кГц}} = 85,23 \text{ м}$$

Применяем коаксиальный кабель с полиэтиленовой изоляцией. Для полиэтилена $K \approx 0,66$.

Длина волны $\lambda'1$ в коаксиальном кабеле с полиэтиленовой изоляцией для частоты 3520 кГц будет равна:
 $\lambda'1 = 0,66 \times 85,23 \text{ м} = 56,25 \text{ м}$

Физическая длина L для электрической длины 73° на частоте 3520 кГц в линии с полиэтиленовой изоляцией будет равна:

$$L = \frac{56,25 \text{ м} \times 73^\circ}{360^\circ} = 11,4 \text{ м}$$

Рассчитываем частоту F_2 для которой линия электрической длины 73° на частоте 3520 кГц будет четверть волновой:

$$F_2 = \frac{3520 \text{ кГц} \times 90^\circ}{73^\circ} = 4340 \text{ кГц}$$

Отрезаем кусок кабеля длиной 12 м, подключаем его к нашей измерительной системе, и замыкая оплетку с центральной жилой все дальше и дальше от конца, настраиваем его в резонанс на 4340 кГц. Лишнее отрезаем.

Это и есть линия электрической длиной 73° на частоте 3520 кГц.

Метод измерения амплитудно-фазового распределения токов между элементами антенны с активным возбуждением излучателей (25)

В качестве основного прибора для измерений амплитудно-фазового распределения токов можно использовать высокочастотный двухлучевой осциллограф, например 31—74.

На входы двух каналов осциллографа через одинаковые линии передачи равной электрической длины подаются сигналы от датчиков токов с излучателей антенной системы. (Рис. 87.) Для исключения фазовых ошибок линии

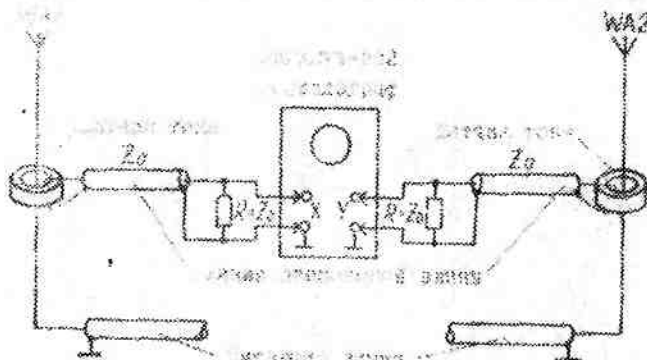


Рис. 87

передачи с обоих концов нагружены на безиндукционные резисторы сопротивлением, равным волновому сопротивлению линий. Таким образом, при включении передатчика на экране осциллографа можно визуально наблюдать амплитудно-фазовое распределение токов. Используя прямоугольную сетку экрана осциллографа, несложно провести соответствующие измерения. Меняя частоту передатчика, получим частотную зависимость амплитудно-фазового распределения токов.

Датчиком тока является трансформатор на ферритовом кольце. Роль первичной обмотки выполняет центральная жила коаксиального кабеля от передатчика, на которую надето ферритовое кольцо. Вторичная обмотка состоит из 10 витков медного провода, намотанного на том же кольце. Диаметр провода значения не имеет, так же как и типоразмер ферритовых колец. Марка феррита — 50 ВЧ или 30 ВЧ. Датчик тока изображен на рис. 88.

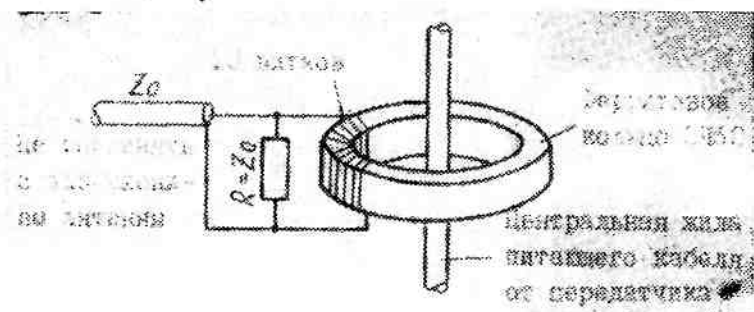
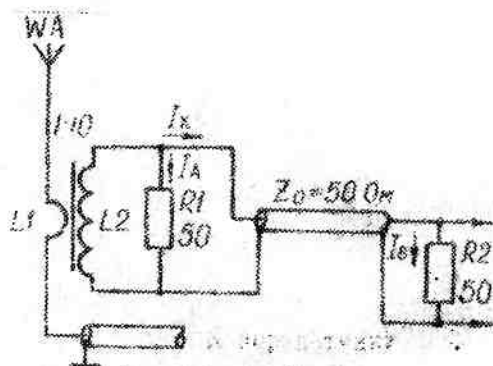


Рис. 88

Электрическая схема включения датчика показана на рис. 89. При измерении амплитуды тока в излучателе



$$I_x = 0,387 \text{ A} = I_A + I_B$$

$$I_A = 0,1935 \text{ A} = I_B$$

$$P = I_A^2 R_1 + I_B^2 R_2 = (0,1935)^2 \cdot 50 = 1,87 \text{ Вт}$$

Рис. 89

следует учитывать, что соотношение токов в первичной и вторичной обмотках 10:1. Сопротивление нагрузки составляют резисторы нагружающие линию, датчик тока—осциллограф. В случае применения линии 50 Ом сопротивление нагрузки составляет 25 Ом. Мощность нагрузочных резисторов должна быть не менее 3 Вт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. John Stanley K4ERO, "Optimum ground system for vertical antennas", QST dec 1976 p 13
2. Jerry Sevick W2FMI, "The constant impedance trap vertical", QST mar 1974 p 29
3. Jerry Sevick W2FMI, "A high performance 20, 40, and 80 meter vertical system", QST dec 1973 p 30
4. John Devolder ON4UN, "Low band dx-ing", ARRL 1987
5. William Orr W6SAI, "Wires antenna handbook", ARRL 1982
6. Willi Richartz HB9ADQ, "A stacked multiband vertical for 80-10 meters", QST feb 1975 p 44
7. Wayne H. Sandford K3EQ, "A modest 45 foot tall dx vertical for 160, 80, 40, 30 meters", QST sept 1981 p 27
8. Jay Rusgrove WALLNG, "The cheapie GP", QST feb 1976 p 31
9. Asa Collings K6VV, "A multi band vertical radiator", QST apr 1977 p 22
10. Daug De Maw W1FB, "A remotely switched inverted-L antenna", QST may 1985 p 37
11. Marian Anderson WB1FSB, "Build this novis four band vertical", QST july 1978 p 16
12. David S. Hollander N7RK, "A big signal from a small lot", QST apr 1979 p 32-39
13. О. Сафиулин "Пятидиапазонная гикальная антенна", Радио №9, 1969 с. 25-26
14. Richard Ludwig W2KK, "The inverted-L antenna", QST apr 1977 p 25-26, 32
15. Carl Eichenauer W2QIP, "A top feed vertical antenna for 1,8 Mhz - plus 3", QST sept 1983 p 25
16. В. Громов "Антенны для диапазона 160 м", Радио №10, 1979 с. 14-16
17. "Коротковолновая антенна", Радио №7, 1963, с. 59
18. Barry A. Boothe W9UCW, "The minooka special", QST dec 1975 p 15-18
19. Arri Antenna Book - 1987
20. Earl W. Cunningham W5RTQ, "Shunt feeding towers for operation on the lower amateur frequencies", QST oct 1975 p 22-24
21. Daug De Maw W1CER, "Another method of shunt feeding your tower", QST oct 1975 p 25
22. Mike Mussler WB8JJA, "Backyard 160 meter vertical", QST apr 1974 p 45
23. Forrest Gehrke K2BT, "Vertical phased arrays", Ham Radio may, jun, jul, oct, dec 1983, may 1984
24. Al Christman KB8I, "Feeding phased arrays, an alternate method", Ham Radio may 1985 p 58
25. Domenic M. Mallozzi N1DM, "Phase measurement in phased arrays", QST apr 1989 p 41

Коротковолновые антенны с вертикальной поляризацией
Научно-техническое пособие

Составители:

Игорь Львович ЗЕЛЬДИН (UB5LCV)
Игорь Александрович КИРИК (RB5 LO)
Виктор Викторович РУСИНОВ (UB5L GM)

МКЦ «АЭЛИТА» Харьковской
областной молодежной газеты
«С О Б Ы Т И Е»

Ответственный за выпуск А. А. Андросов
Редактор Л. М. Жерихова. Художник А. Г. Жуков
Художественный редактор Я. И. Лозинский
Технический редактор Л. А. Протопоп
Корректор С. Ф. Шлейко
Н/К

Сдано в набор 10.09.91. Подписано в печать 31.10.91.
Формат 84 x 108 1/32 Бумага писчая
Литературная гарнитура. Высокая печать.
Условн. печ. л. 4,5 Условн. кр.-отт. 4. 8.
Уч.-изд. л. 3,9 Тираж 30000 экз.

Изд. № 167. Заказ № 4649 Цена 5 руб.
Редакционно-издательский отдел облполиграфиздата.
310506, Харьков, Госпром, 6 подъезд, 6 этаж.
Золочевская районная типография, 312220, Золочев,
ул. Комсомольская, 44а.