

# Измерительная активная дипольная антенна АДА-1М

**Ю.А. Никитин**, начальник лаборатории 102 Филиала ФГУП НИИР-ЛОНИИР, доцент, к.т.н.; yuriyan@list.ru

**С.А. Белов**, начальник сектора 1022 Филиала ФГУП НИИР-ЛОНИИР; emc@loniir.ru

**С.Ю. Чернявский**, инженер-электроник ООО «Фирма»НИТА»; ttl1@rambler.ru

УДК 621.396.67

**Аннотация.** *Описана малогабаритная широкополосная активная дипольная антенна АДА-1М, предназначенная для измерений электрических полей в диапазоне частот от 30 Гц до 30 МГц.*

**Ключевые слова:** *активная антенна, дипольная антенна, напряженность поля, электрическое поле, коэффициент калибровки.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время предложения отечественных производителей чувствительных малогабаритных широкополосных антенн для измерения электрического поля в низкочастотном диапазоне представлены на рынке средств измерений явно недостаточно [1]. В то же время испытательным лабораториям необходимо проводить испытания технических средств по параметрам электромагнитной совместимости на частотах от 9 кГц до 30 МГц, а в некоторых случаях и ниже 9 кГц. Поэтому разработка низкочастотной широкополосной антенны для измерения напряженности электрического поля актуальна и целесообразна.

Такая антенна должна иметь следующие характеристики:

1. Диапазон рабочих частот – от 30 Гц до 30 МГц;
2. Диапазон измеряемых электрических полей – от 10 мкВ/м до 1 В/м;
3. Выходное сопротивление антенны – 50 Ом;
4. Величина коэффициента калибровки – не более 20 дБ(1/м).

## ВЫБОР ТИПА АНТЕННЫ

Для измерений электромагнитных полей применяют два вида антенн: пассивные (не имеющие активных компонентов) и активные (в их состав входят активные элементы, представляющие собой, как правило, малошумящие усилители, которые позволяют усилить наведенный на вибратор сигнал). Использование в антенне активных элементов ограничивает максимальную измеряемую напряженность электрического поля вследствие конечной линейности применяемого активного элемента. В пассивных антеннах такого ограничения нет [2].

Хотя разработать пассивную антенну, имеющую на нижней частоте требуемого диапазона (30 Гц) доста-

точную чувствительность, теоретически возможно, но практически реализовать и использовать такую антенну нереально, так как ее размеры будут очень велики ( $\lambda/4=2500$  км). Активная антенна может иметь небольшие геометрические размеры при сохранении приемлемого коэффициента калибровки в широкой полосе частот.

Для измерения напряженности электрических полей в диапазоне частот от 30 Гц до 30 МГц используют два типа антенн: штыревые и дипольные. Штыревые антенны имеют круговую диаграмму направленности и большие габаритные размеры. Они требуют обязательного заземления противовеса, что в некоторых случаях ограничивает или делает невозможным их использование, например, для измерения горизонтальной составляющей электрического поля.

Дипольные антенны не требуют заземления, но диаграмма направленности у них иная – в виде восьмерки. Дипольная антенна позволяет измерять не только вертикальную составляющую исследуемого поля, но и горизонтальную [3].

Чувствительность укороченной дипольной антенны определяется длиной вибраторов. Однако большая длина вибраторов затрудняет работу с антенной. Для удобства работы длина приемного вибратора антенны АДА-1М выбрана компромиссной – 15 см. Выходное сопротивление вибратора в указанном диапазоне частот имеет емкостной характер и составляет величину около 5 пФ, образуя совместно с входным комплексным сопротивлением буферного усилителя частотно-зависимый делитель напряжения.

При создании эквивалентной схемы такой делитель можно заменить фильтром верхних частот (ФВЧ). Отсюда следует, что для обеспечения требуемой полосы измерений срез ФВЧ по уровню половинной мощности (–3 дБ) должен быть не более 30 Гц. Такому значению

частоты среза соответствует входное сопротивление антенного усилителя более 1 ГОм. При соблюдении указанных условий коэффициент калибровки антенны  $K$  (величина, обратная коэффициенту передачи) постоянен во всей полосе заданных частот.

График, показывающий зависимость коэффициента передачи антенны от частоты, приведен на рис. 1. Измеренное значение коэффициента калибровки антенны  $K$  приведено в таблице. Погрешность коэффициента калибровки – не более  $\pm 2$  дБ.

## УСИЛИТЕЛЬ И КОНСТРУКЦИЯ АНТЕННЫ

Активная часть антенны построена в виде инструментального усилителя, собранного на трех широкополосных ОУ. Такая схема имеет ряд преимуществ: во-первых, компенсируется синфазная составляющая сигнала, во-вторых, оба плеча полностью симметричны, что достигается за счет использования общего резистора в цепи обратной связи входных ОУ. Чтобы получить высокое входное сопротивление антенны, применены операционные усилители (ОУ) с полевыми транзисторами на входе, например, ОУ типа AD8065 фирмы Analog Devices. Полоса пропускания ОУ при единичном усилении равна 145 МГц; входной импеданс моделируется параллельным соединением резистора с сопротивлением 1 ТОм и конденсатора емкостью 4,5 пФ; его шумы напряжения, приведенные ко входу, достаточно велики ( $7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ ), в то время как токовые шумы не превышают  $0,6 \text{ фА}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Распределение шумов напряжения ОУ показано на рис. 2 [4].

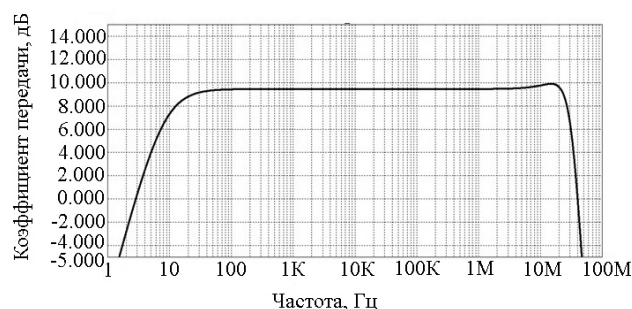
Для получения хорошей симметрии и подавления синфазной составляющей в цепи обратной связи используются резисторы с разбросом значений не более 0,1%. Выходной каскад антенны согласовывает антенну с 50-Омной нагрузкой и обеспечивает требуемый динамический диапазон на выходе антенны.

Внешний вид антенны представлен на рис. 3. Приемный диполь вместе с активной частью антенны закреплен внутри экранирующего корпуса. К корпусу через диэлектрическую пластину крепится ручка, внутри которой проходит кабель ВЧ, на кабель надеты ферритовые кольца для подавления внешних паразитных наводок. На конце ручки находится ВЧ разъем CP-50-1ФВ для подключения измерительного прибора (анализатора спектра или измерительного приемника).

Питание антенны осуществляется от двух встроенных аккумуляторных батарей. Применение независимого питания позволяет использовать антенну в местах, где отсутствуют источники электропитания, и исключает наведение помех на цепи питания. Это особенно важно

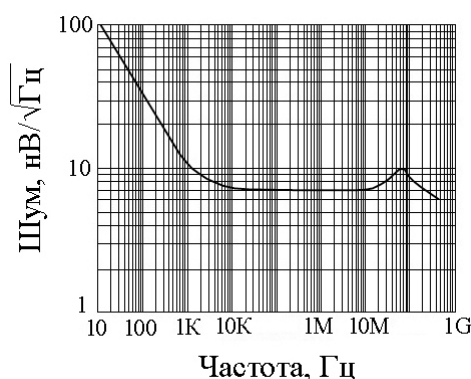
**Рисунок 1**

Зависимость коэффициента передачи антенны от частоты



**Рисунок 2**

Зависимость приведенных ко входу шумов напряжения (voltage noise) ОУ AD8065



**Рисунок 3**

Антенна АДА-1М



## Коэффициенты калибровки $K$ при разных частотах

Частота, кГц	0,01	0,03	0,07	0,6	6	30	100	150	300	500	3000	10000	20000	30000
$K$ , дБ-1/м	17,1	16,0	14,7	14,5	14,5	14,1	14,9	14,9	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	17,1

из-за того, что частота питающей сети 220 В составляет 50 Гц, т.е. ее гармоники попадают в полосу измерения антенны.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и серийно производится активная дипольная антенна АДА-1М, которая предназначена для измерения напряженности электрического поля в полосе частот от 30 Гц до 30 МГц. Коэффициент калибровки антенны постоянен во всей полосе частот и равен  $15 \text{ дБ(1/м)} \pm 2 \text{ дБ}$ . Динамический диапазон антенны в полосе 1 Гц превышает 120 дБ при максимально измеряемой величине электрического поля 3 В/м.

Антенна может быть использована как самостоятельное изделие и в составе автоматизированных измерительных комплексов для измерения электромагнитных полей радиопомех и радиосигналов, а также для проверки систем защиты информации от непреднамеренной

утечки за счет побочных электромагнитных излучений. Электрические параметры антенны соответствуют требованиям ГОСТ Р 51319, ГОСТ Р 51318.16.1.4, ГОСТ Р 53112.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михалев, Л.А.** Широкополосная измерительная дипольная антенна / Л.А. Михалев, О.В. Огаренко, В.А. Тищенко // Приборы и техника эксперимента. – 1984. – № 2. – С. 160-161.
2. **Овсянников, В.В.** Вибраторные антенны с реактивными нагрузками / В.В. Овсянников. – М.: Радио и связь, 1985. – 120 с.
3. **Мейнке, Х.** Радиотехнический справочник. Т. 1. / Х. Мейнке, Ф.В. Гундлах.: Пер. с нем. – Москва, Ленинград: Госэнергоиздат, 1960. – 416 с.
4. AD8065/AD80661 FastFET amplifiers. – [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8065\\_8066.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8065_8066.pdf).

*Получено 08.07.19*

## ВЛАДИМИРУ КОРШУНОВУ – 80!



3 октября 2019 г. отмечает 80-летие Владимир Николаевич Коршунов – доктор технических наук, профессор Московского технического университета связи и информатики, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института кабельной промышленности, Мастер связи, действительный член Международной академии информатизации, постоянный

автор журнала «Электросвязь».

В.Н. Коршунов окончил Ленинградский электротехнический институт связи им. проф. М.А. Бонч-Бруевича в 1962 г. По распределению работал на предприятии а/я 106 ГКРЭ, затем поступил в аспирантуру ЛЭИС и в 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию. В составе коллектива разработчиков участвовал в проведении опытной эксплуатации цветной фототелеграфной связи между Москвой и Ленинградом.

В 1969–74 гг. Владимир Николаевич преподавал на кафедре многоканальной электросвязи ЛЭИС. С 1974 г. и по настоящее время работает в МТУСИ, сначала доцентом, а с 1993 г. после защиты докторской диссертации – профессором кафедры многоканальных телекоммуникационных систем.

Начиная с 1975 г., профессиональная деятельность юбиляра связана с областью оптических кабелей, линий и систем передачи. Под его руководством выполнены и защищены 5 кандидатских диссертаций и более 180 дипломных проектов

и магистерских диссертаций. Список научных и методических трудов Владимира Николаевича содержит более 200 публикаций.

Профессор В.Н. Коршунов – человек разносторонних интересов: в молодости был перворазрядником по гребле на байдарке, на мотоцикле объездил страну от Прибалтики до Средней Азии и даже закончил вечернее отделение музыкального училища им. М.М. Ипполитова-Иванова по специальности «теория музыки».

В октябре этого года юбиляр отмечает еще одну важную дату – 50 лет его сотрудничества с нашим журналом. За эти годы Владимир Николаевич Коршунов единолично и в соавторстве опубликовал в «Электросвязи» 24 статьи.

*Редколлегия и редакция журнала «Электросвязь» искренне поздравляют Владимира Николаевича Коршунова с 80-летием и желают ему творческого долголетия, здоровья, счастья и благополучия!*