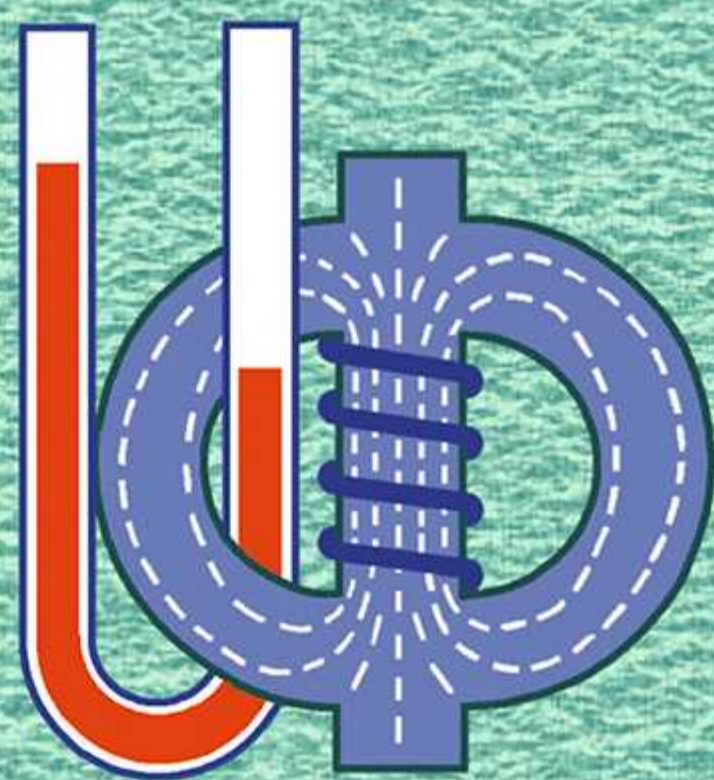
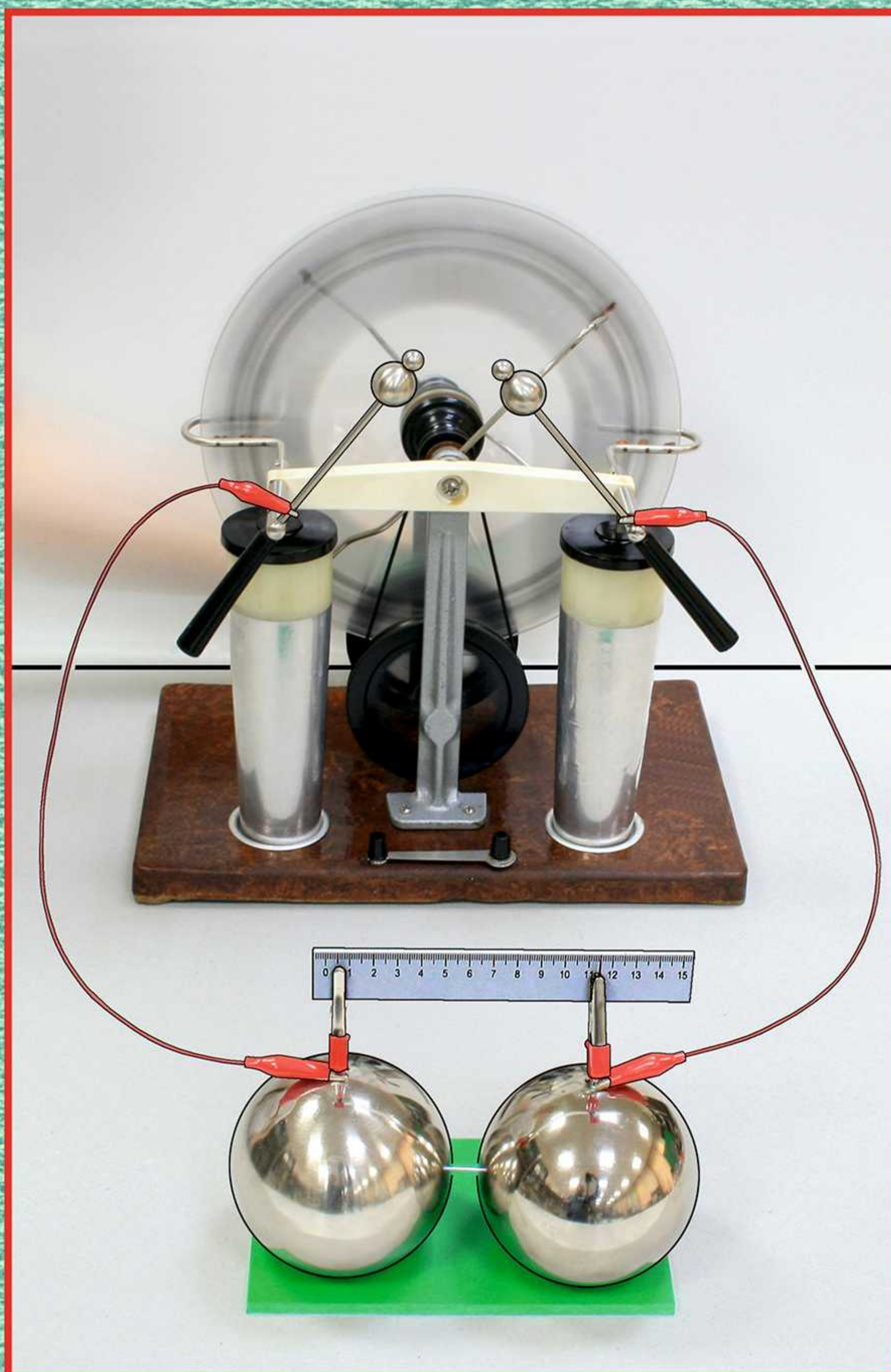


ISSN 2307-5457



УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

3
2022



УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина, И. А. Васильев
ГЕНЕРАТОР И ИНДИКАТОР ДЛЯ УЧЕБНЫХ
ОПЫТОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Описаны конструкция и технология самостоятельного изготовления микро-мощного излучателя и чувствительного индикатора электромагнитного излучения. Приборы работают в разрешенном для радиолюбительских экспериментов дециметровом диапазоне (433 МГц).

Ключевые слова: электромагнитное излучение, дециметровый диапазон, 433 МГц, микромощный генератор, чувствительный индикатор.

Потребовалось несколько лет, чтобы конструкции излучателя и индикатора микромощного электромагнитного излучения частотой 433 МГц [1, 2] довести до уровня, обеспечивающего постановку основной серии известных учебных опытов с электромагнитными волнами [3]. В этой статье представлено краткое описание указанных учебных приборов и технологии их изготовления. Принципиальные схемы этих приборов просты и доступны для понимания обучающимися, поэтому они остались неизменными и для удобства читателя здесь воспроизводятся. Технология изготовления излучателя и индикатора проиллюстрирована фотографиями, которые наглядно показывают, как можно сделать эти приборы. Мы стремились изложить материал так, чтобы учитель мог без особых затруднений использовать его для организации проектной деятельности любознательных и активных школьников.

1. Принципиальная схема генератора

На рис. 1.1 изображена принципиальная схема передатчика FS1000A. Генератор передатчика собран на транзисторе Q1 типа 2SC3356 или 2SC3357, его частота 433,92 МГц стабилизирована ПАВ-резонатором SAW типа R433. Катушка L2 в некоторых модулях отсутствует. Транзистор Q2 является ключом для импульсной манипуляции высокочастотным сигналом, и в демонстрационном генераторе не используется. Чтобы передатчик излучал немодулированную волну указанной частоты, его вход DATA нужно соединить с положительным полюсом источника питания VCC. Вместо антенны W, для подключения которой на

модуле имеется гнездо, следует использовать полуволновой диполь $W1$. Выключатель $SA1$ используется для включения и выключения источника питания генератора.

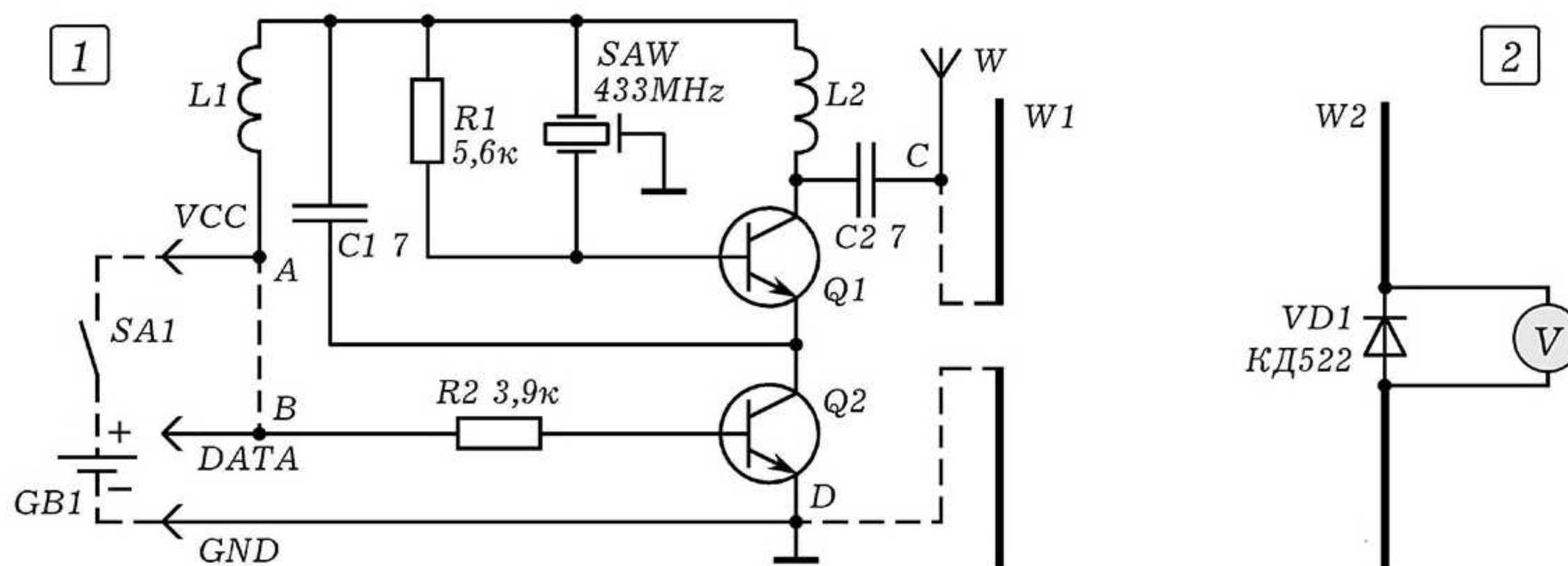


Рис. 1. Принципиальные схемы приборов: 1 — микромощный передатчик; 2 — детекторный приемник электромагнитного излучения частотой 433 МГц

Несущая частота описанного передатчика 433 МГц; напряжение питания может быть любым в пределах 3–12 В; потребляемый ток 8–40 мА; выходная мощность 10–25 мВт в зависимости от напряжения питания.

Таблица 1

Спецификация компонентов генератора

Компонент	Название компонента и его параметры
$FS1000A$	Беспроводной передатчик $FS1000A$, несущая частота 433 МГц, напряжение питания 3–12 В, сила потребляемого тока 8–40 мА, мощность излучения 10–20 мВт.
$SA1$	Кнопка с фиксацией $PB21E06087-07$ (аналог $PSW-3$ и $PSM-6-0-0$).
$GB1$	Элемент питания 6F22 на 9 В (Крона).
$W1$	Полуволновой диполь: два прямых медных провода диаметром 1,5 мм и длиной 170 мм.
Контейнер	$TBH-9V-A-P$ ($FC1-5356$), батарейный отсек для «Кроны».

Чтобы сразу после сборки передатчика убедиться в его работоспособности, можно использовать детекторный приемник, нагруженный на мультиметр в режиме вольтметра (рис. 1.2).

2. Принципиальная схема индикатора

Для демонстрационных опытов необходим такой индикатор, который показывает сам факт наличия электромагнитного излучения и позволяет на глаз оценить его интенсивность. С этой целью можно использовать усилитель постоянного тока, нагруженный на светодиод. Существует немало схем усилителей, при-

годных для решения этой задачи. Но учителю для опытов нужен простой и надежный усилитель с однополярным питанием от такого же источника, какой есть у генератора. Задача будет решена, если за основу индикатора взять недавно разработанный универсальный усилитель постоянного тока для школьного гальванометра [4].

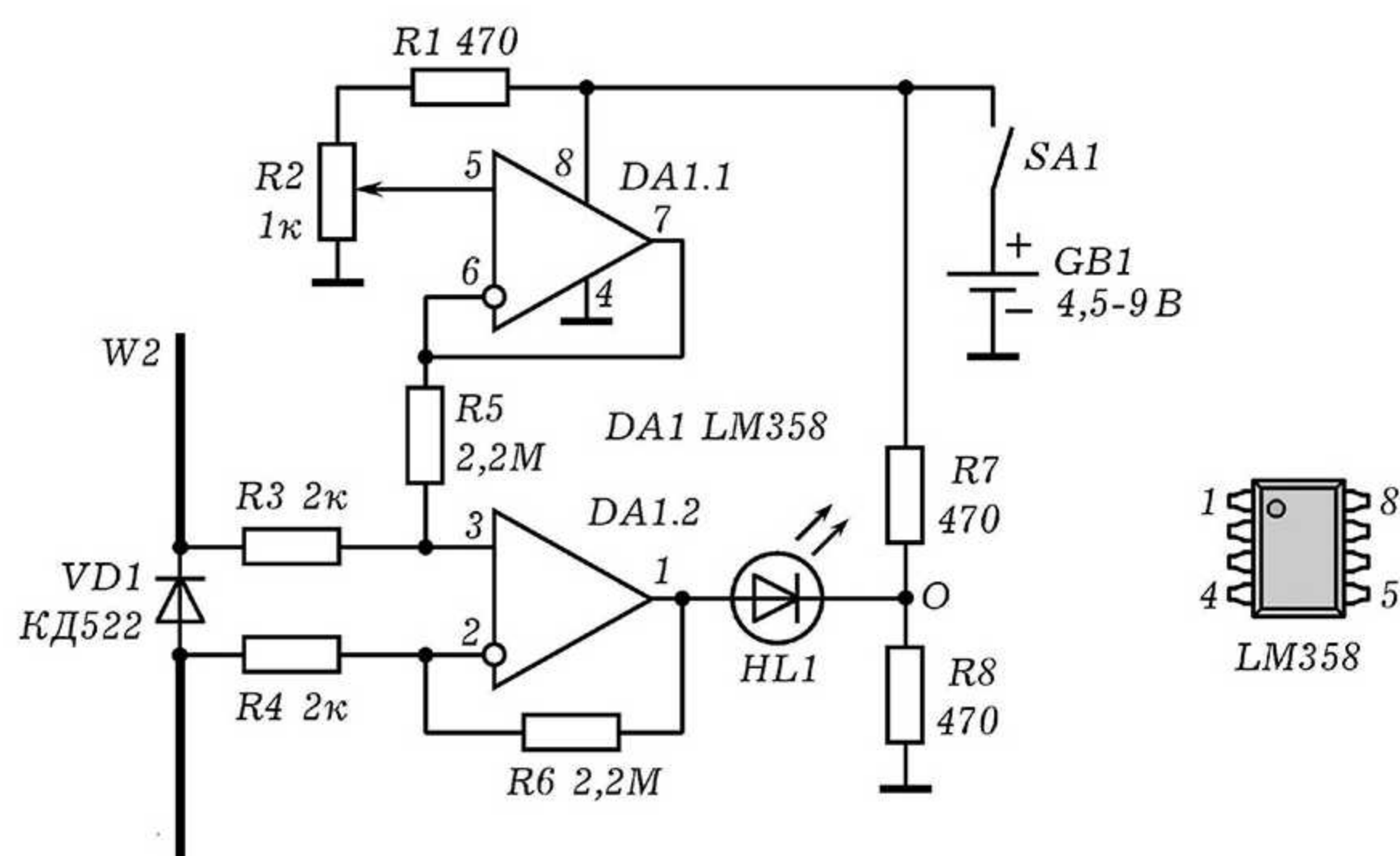


Рис. 2. Принципиальная схема чувствительного индикатора электромагнитного излучения; справа приведена цоколевка микросхемы *LM358*

Таблица 2
Спецификация компонентов индикатора

Компонент	Название компонента и его параметры
<i>DA1</i>	<i>LM358P</i> двухканальный операционный усилитель с однополярным питанием, 3–32 В [<i>DIP</i> –8].
<i>VD1</i>	Диод импульсный <i>КД522</i> , полный аналог <i>1N4148</i> .
<i>HL1</i>	Светодиод <i>LA484VC-D</i> круглый 5×5 мм, красный, 1000 мкд, 80°, линза прозрачная; максимальное прямое напряжение 2,4 В.
<i>R1, R7, R8</i>	Резистор постоянный 470 Ом (желтый–фиолетовый–коричневый).
<i>R2</i>	Резистор переменный 1 кОм, <i>16K1-A1K, L20KC</i> .
<i>R3, R4</i>	Резистор постоянный 2 кОм (красный–черный–красный).
<i>R5, R6</i>	Резистор постоянный 2,2 МОм (красный–красный–зеленый).
<i>SA1</i>	Кнопка с фиксацией <i>PB21E06087-07</i> (аналог <i>PSW-3</i> и <i>PSM-6-0-0</i>).
<i>GB1</i>	Элемент питания <i>6F22</i> на 9 В (Крона).
<i>W2</i>	Полуволновой диполь: два прямых медных провода диаметром 1,5 мм и длиной 170 мм.
Контейнер	<i>TBH-9V-A-P (FC1-5356)</i> , батарейный отсек для «Кроны».

На рис. 2 приведена принципиальная схема рекомендуемого прибора. На резисторах *R1* и *R2* собран делитель напряжения питания, потенциометр *R2* которого позволяет регулировать вы-

ходное напряжение делителя в пределах от 0 до 6 В. На операционном усилителе $DA1.1$ выполнен повторитель напряжения, задаваемого переменным резистором $R2$. Это напряжение через резистор $R5$ подается на неинвертирующий вход операционного усилителя $DA1.2$, на котором собран дифференциальный усилитель сигнала, снятого с диода $VD1$. Резисторы $R3$ и $R4$ определяют входное сопротивление усилителя, а резистор $R6$ задает величину обратной связи. Светодиод $HL1$ включен между выходом операционного усилителя $DA1.2$ и искусственным нулем схемы O , который создан делителем напряжения, состоящим из резисторов $R7$ и $R8$.

Никакого налаживания эта схема не требует и всегда работает безупречно. Оба операционных усилителя $DA1.1$ и $DA1.2$ находятся в одном восьмиштырьковом корпусе, цоколевка которого приведена на рис. 2 рядом со схемой. Поэтому сборка индикатора никаких затруднений не вызовет. Нужно, однако, помнить, что сопротивления пар резисторов $R3$ и $R4$, $R5$ и $R6$, $R7$ и $R8$ должны быть одинаковы, отношение $R5/R3 = R6/R4$ определяет коэффициент усиления, и сопротивление $R1$ должно быть в два раза меньше, чем $R2$. Схема совершенно не критична к номиналам деталей, их можно изменять в разы.

Для проверки работоспособности этой схемы лучше всего использовать универсальную панель для сборки электронных устройств без пайки. Получится внешне некрасивая, но вполне работоспособная конструкция. Расположив пробный индикатор рядом с генератором, нужно убедиться, что оба прибора работают. Используя их, можно провести всю серию опытов с электромагнитными волнами дециметрового диапазона.

3. Конструкция генератора и индикатора

Разрабатывая окончательную конструкцию учебных приборов, следует иметь в виду, что техника развивается стремительно и любая конструкция быстро устаревает. Поэтому неразумно пытаться делать учебный прибор, надеясь на то, что он будет работать десятки лет. Всегда лучше предельно простая конструкция электронного устройства, которая позволяет легко и быстро найти и устранить возможную неисправность. Исходя из этих соображений, мы не рекомендуем заключать генератор и индикатор электромагнитного излучения в красивые корпуса. Лучше и проще собрать их на открытых печатных платах методом поверхностного монтажа.

На рис. 3 приведены фотографии основных конструктивных компонентов комплекта приборов: 1, 2, 3 — печатная плата, ос-

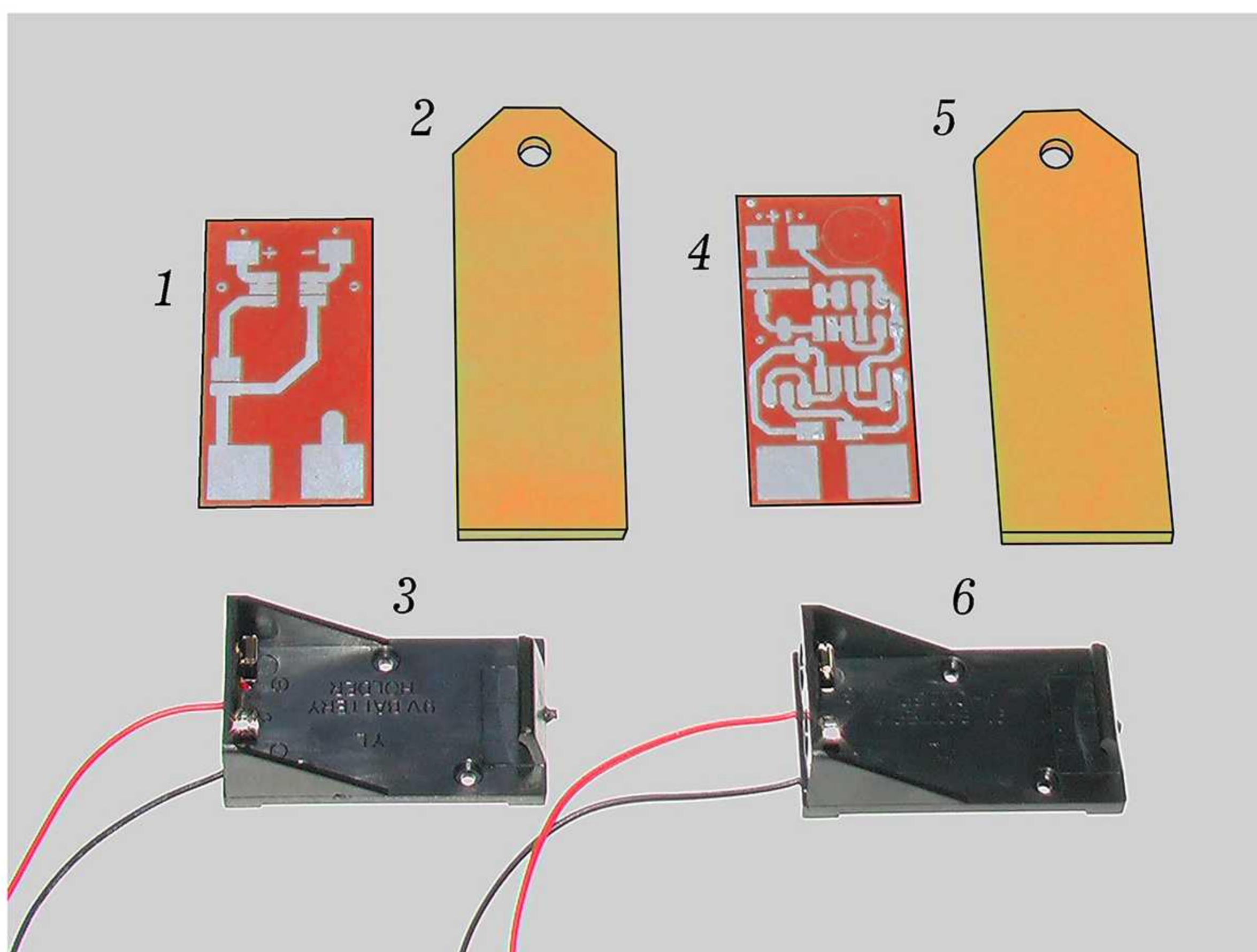


Рис. 3. Основные конструктивные компоненты комплекта приборов

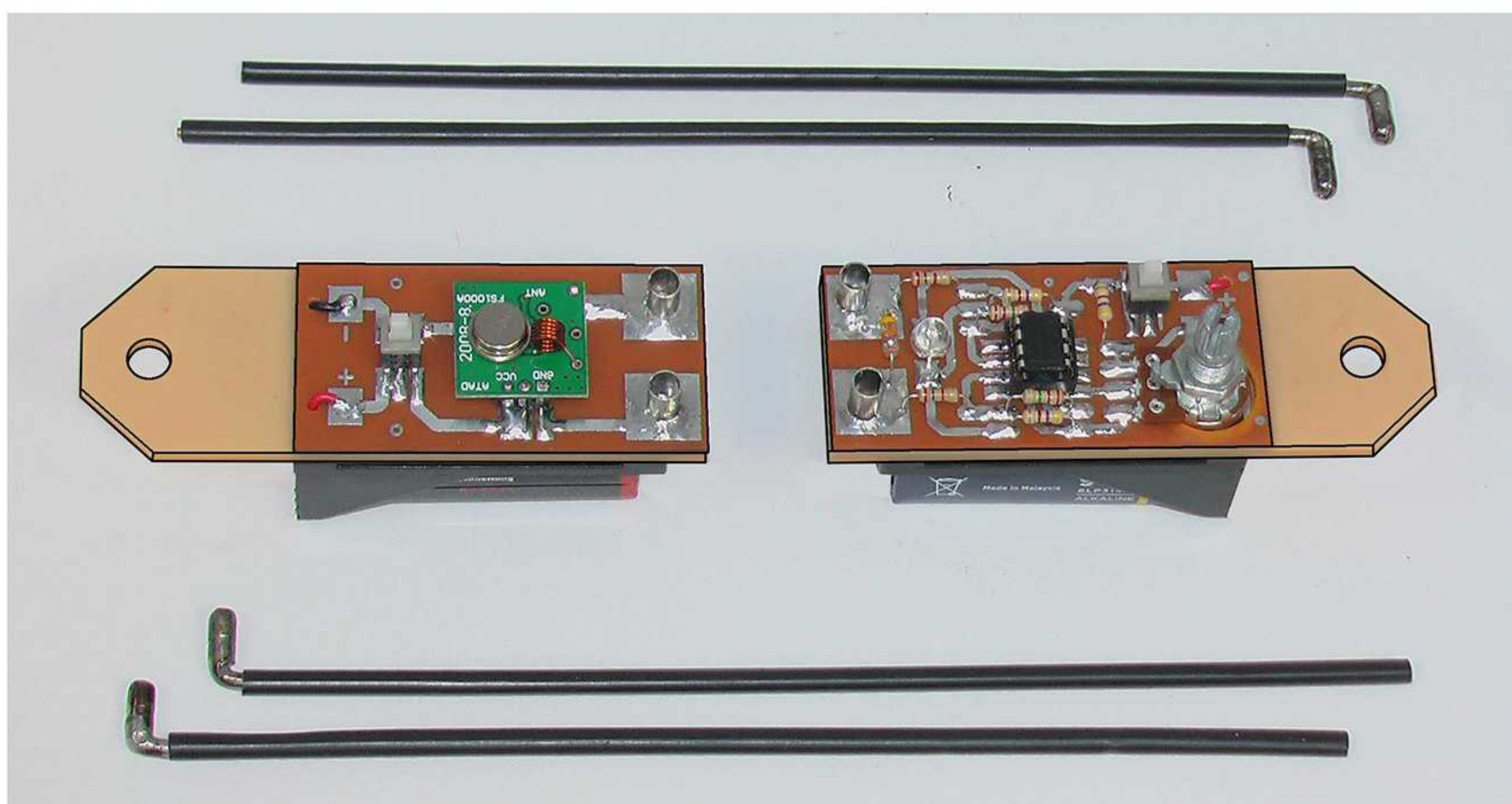


Рис. 4. Микро мощный генератор и чувствительный индикатор в сборе. Рядом с приборами лежат излучающий и приемный полуволновые диполи

нование и контейнер для источника питания генератора; 4, 5, 6 — аналогичные компоненты индикатора.

Для печатных плат генератора и индикатора используют пластинки фольгированного гетинакса размером 30×60 и 30×65 мм. Особенностью плат являются пары квадратных областей размером 10×10 мм для антенных гнезд. Отогнутые концы четверть-волновых отрезков антенн плотно вставляются в эти гнезда. Такая конструкция позволяет поворачивать в гнездах половинки антенн, превращая антенны из диполей в отрезки двухпроводных линий.

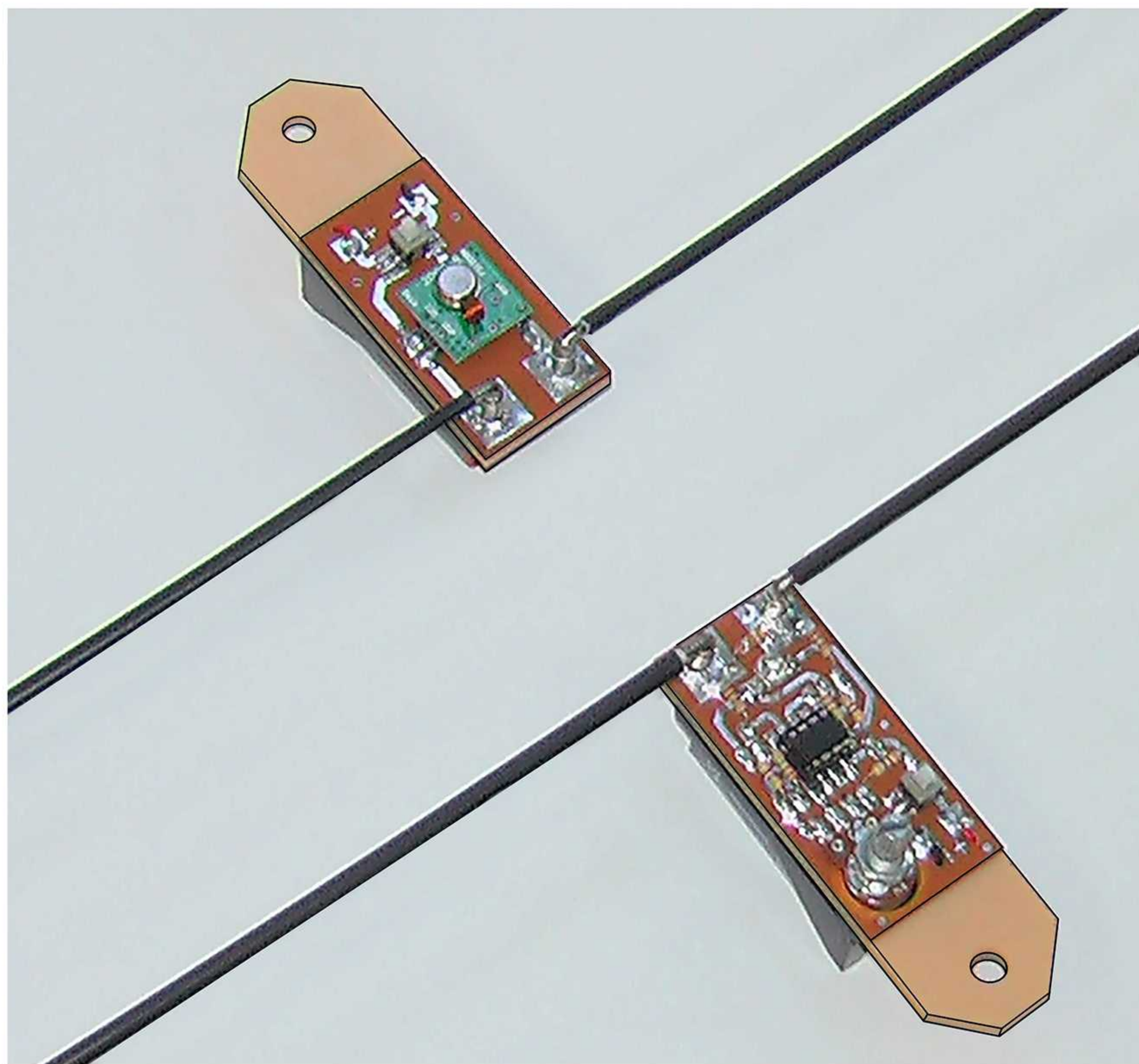


Рис. 5. Генератор и индикатор дециметрового электромагнитного излучения, подготовленные к работе

Основания приборов размером 30×90 мм вырезают из винипласта или иного подходящего пластика. В основаниях должны быть сделаны отверстия для крепления приборов к специальной ручке или к стойке штатива.

Печатные платы готовых генератора и индикатора приклеивают двухсторонним скотчем или прикрепляют двумя саморезами сверху к винипластовым основаниям этих приборов. Снизу к основаниям винтами прикручивают контейнеры источников питания.

Контейнеры для источников питания типа 6F22 на 9 В можно приобрести в магазине. Мы использовали также самодельные открытые контейнеры, образованные отогнутыми вниз частями удлиненных винипластовых оснований [2].

Указанный в спецификации (табл. 2) светодиод имеет небольшие размеры и дает яркое широконаправленное излучение. В индикаторе можно использовать маломощный светодиод любого типа. Если светодиод дает остронаправленное излучение, его поверхность лучше заматировать мелкой шкуркой.

Внешний вид генератора и индикатора электромагнитного излучения показан на рис. 4. На четвертьволновые отрезки излучающей и приемной антенн надевают полихлорвиниловые трубки такого цвета, чтобы был обеспечен контраст с фоном, на котором демонстрируются опыты.

На рис. 5 слева приведена фотография генератора и справа — индикатора электромагнитного излучения, конструкции которых только что кратко описаны. При постановке опытов генератор и индикатор закрепляют винтами в штативных стойках, для чего используют отверстия в основаниях приборов. Этими же винтами к основаниям можно прикрепить специальные ручки, если генератор и индикатор предполагается держать в руках.

Система демонстрационных опытов с электромагнитными волнами дециметрового диапазона рассмотрена, например, в статье [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00157. *Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00157.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В., Кощев Г. В. Микромощный передатчик для опытов с волнами дециметрового диапазона // Учебная физика. — 2018. — № 2. — С. 25–27.
2. Майер В. В., Вараксина Е. И., Васильев И. А., Кощев Г. В. Комплект приборов для демонстрационных опытов с электромагнитными волнами // Физика в школе. — 2019. — № 4. — С. 41–46.
3. Майер В. В. Электромагнитные волны // Учебная физика. — 2006. — № 1. — С. 147–220.
4. Майер В. В., Вараксина Е. И. Усилитель постоянного тока для школьного гальванометра // Учебная физика. — 2018. — № 2. — С. 22–24.