

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

Методические указания по выполнению заданий СРС

Составители:
Н. В. Садовский
И. Н. Садовский



Владимир 2019

УДК 621.385.6+621.396.677

ББК 32.849.4+32.845

У82

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. М. Гаврилов

Устройства СВЧ и антенны : метод. указания по выполне-
У82 нию заданий СРС / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столето-
вых ; сост.: Н. В. Садовский, И. Н. Садовский. – Владимир : Изд-
во ВлГУ, 2019. – 31 с.

Методические указания разработаны с целью помочь студентам при выполнении самостоятельной работы по курсам «Устройства СВЧ и антенны» и «Антенны и микроэлектронные устройства систем связи». Содержат примеры выполнения с необходимыми рекомендациями.

Предназначаются для студентов 2-го курса направления подготовки 11.03.02 «Информационные технологии и системы связи» и студентов 3-го курса направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 16. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.385.6+621.396.677

ББК 32.849.4+32.845

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа предназначена для закрепления лекционного материала путём выполнения расчётов по трём разделам, входящим в курс «Устройства СВЧ и антенны».

В первом разделе необходимо рассчитать и построить в декартовой и полярной системах координат диаграмму направленности симметричного электрического вибратора произвольной длины. Длина вибратора определяется по приведённой в методических указаниях формуле.

Второй раздел посвящён расчёту диаграммы направленности эквидистантных антенных решёток. Студенту необходимо рассчитать и построить в декартовой и полярной системах координат диаграмму направленности множителя комбинирования, одного излучателя и антенной решётки в целом. Вариант задания определяет преподаватель.

Третий раздел посвящён решению задачи узкополосного согласования при помощи реактивных шлейфов и четвертьволновых трансформаторов сопротивлений. Вариант сопротивления нагрузки и согласующего устройства задаёт преподаватель.

По окончании работы студенты обсуждают полученные результаты с преподавателем и делают необходимые выводы.

Тема 1. СИММЕТРИЧНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВИБРАТОР

Задание: Рассчитать и построить в декартовой и полярной системе координат в нормированном и ненормированном виде диаграмму направленности симметричного электрического вибратора длиной $2l$ в плоскости вектора E .

При выполнении задания студенту задается длина вибратора в долях длины волны.*

Симметричный электрический вибратор – это отрезок прямолинейного проводника длиной $2l$, в каждой точке, симметричной относительно точки питания, токи равны по величине и направлению (рис. 1).

* Электрическая длина вибратора для каждого студента находится по формуле: $2l = n * \lambda / 4$, где n – порядковый номер в списке группы.

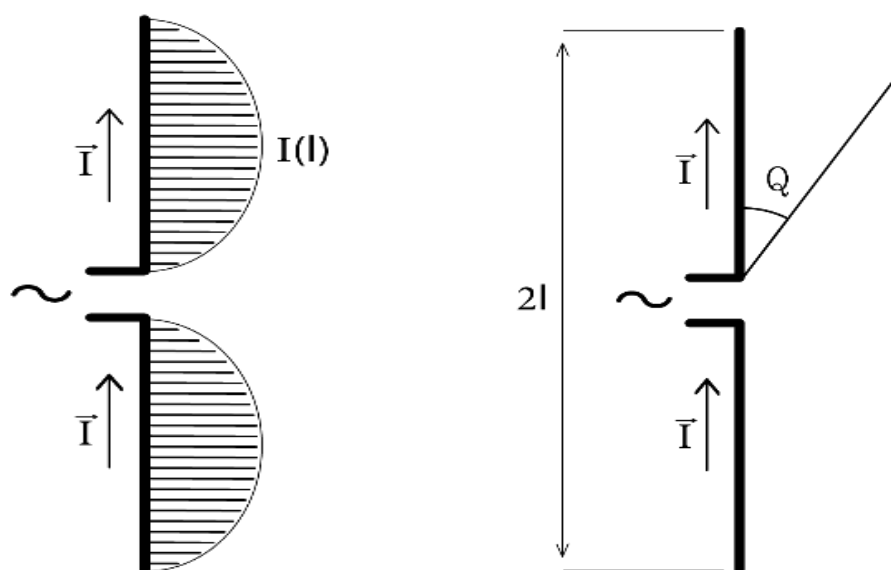


Рис. 1. Симметричный электрический вибратор и распределение тока на нём

Диаграмма направленности симметричного электрического вибратора определяется формулой,

$$f(Q) = \frac{[\cos(Kl \cos Q) - \cos Kl]}{[\sin Q]}$$

где Q – меридиональный угол

l – длина плеча вибратора

$K = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число

Примеры диаграммы направленности в ненормированном виде для вибраторов различной длины приведены на рис. 2 – 5.

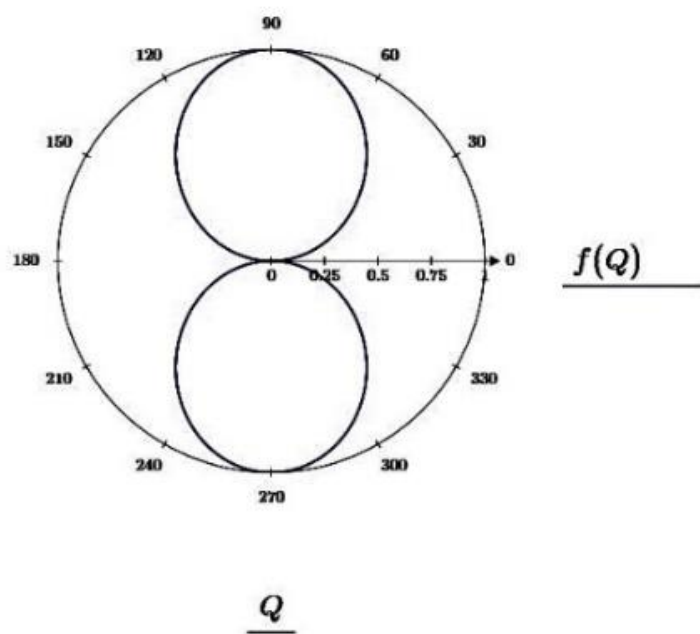
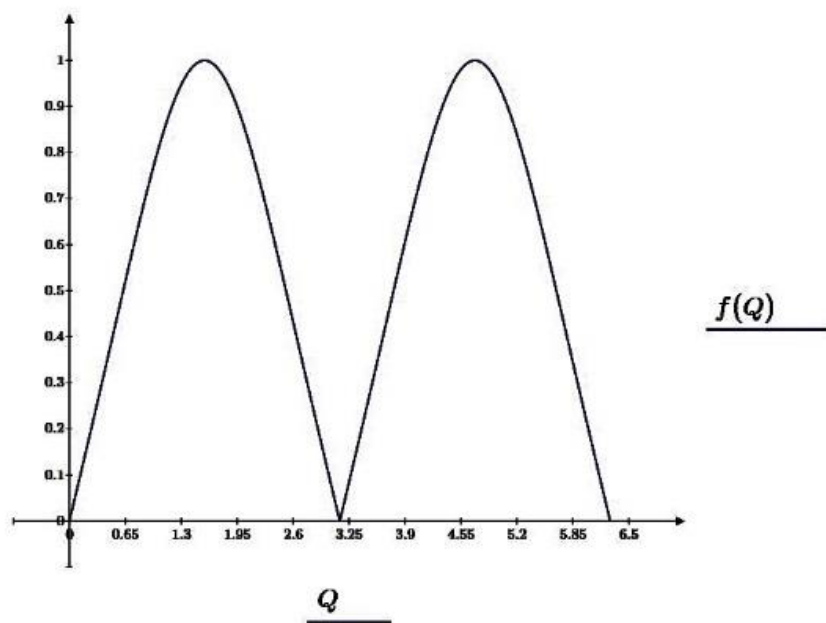


Рис. 2. Диаграмма направленности вибратора длиной $2l = \frac{\lambda}{2}$

в декартовой и полярной системе координат.

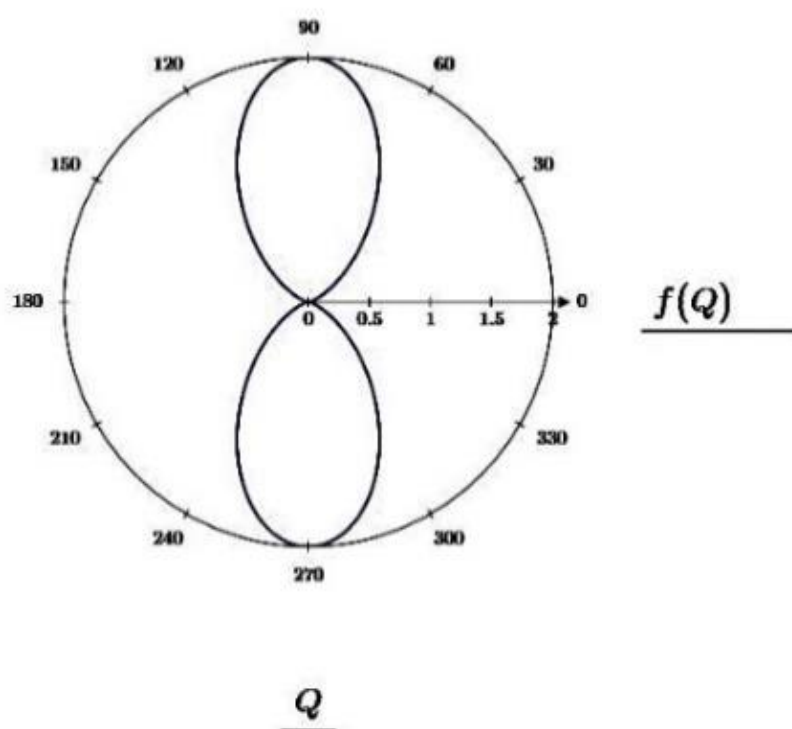
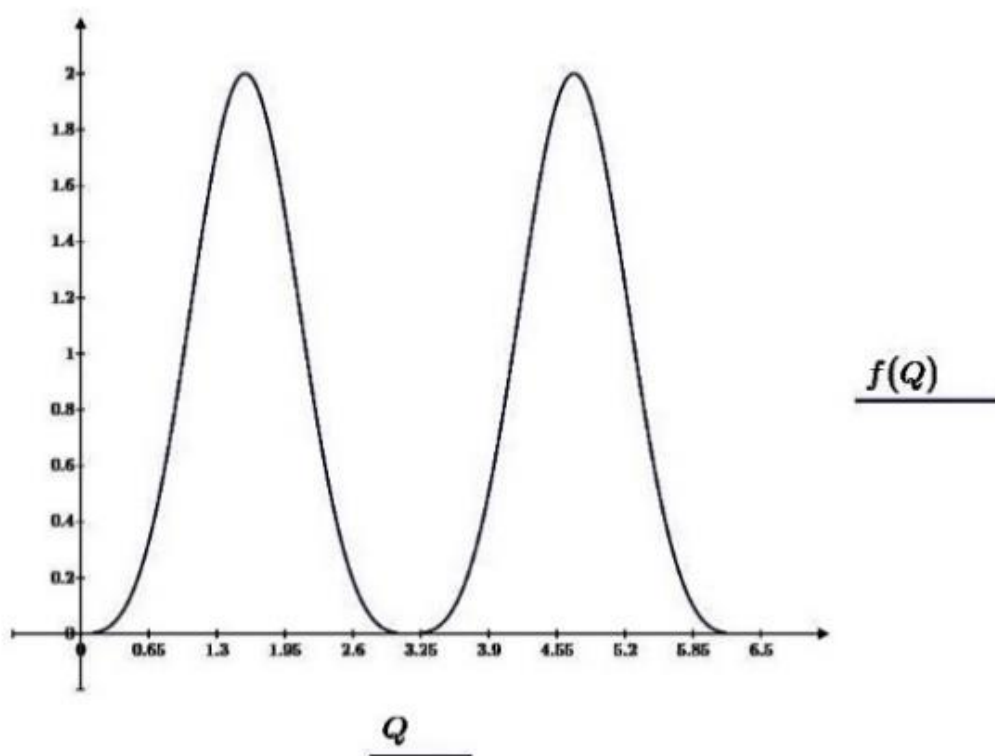


Рис. 3. Диаграмма направленности вибратора длиной $2l = \lambda$.
в декартовой и полярной системе координат

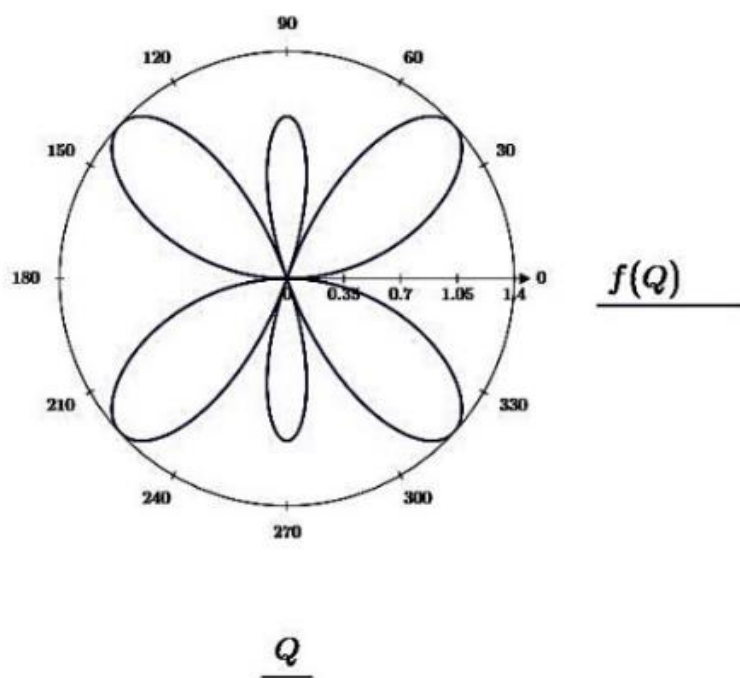
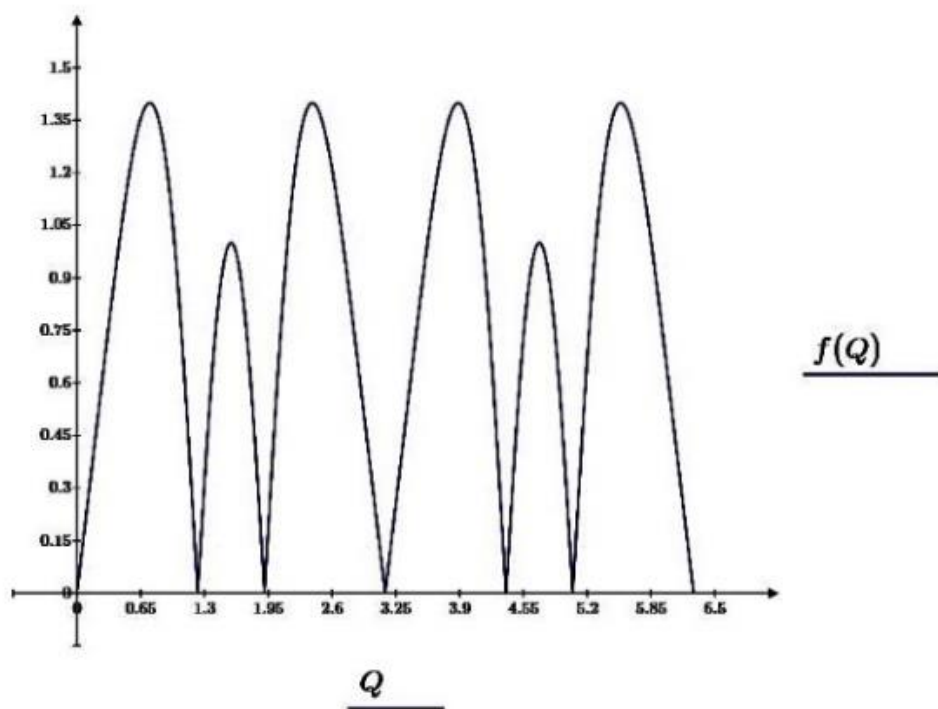


Рис. 4. Диаграмма направленности вибратора длиной $2l = \frac{3\lambda}{2}$
в декартовой и полярной системе координат

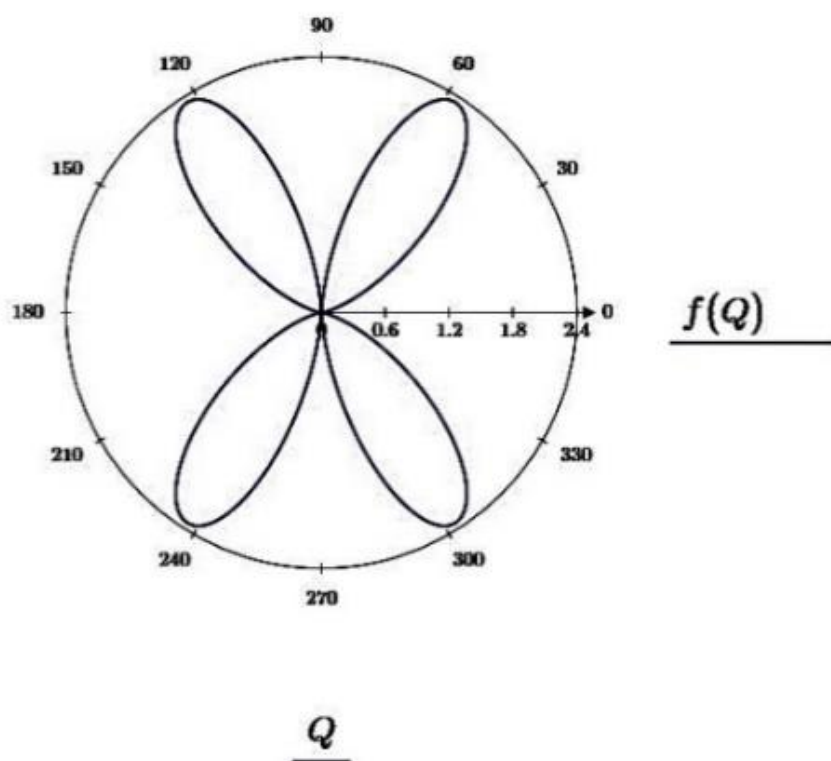
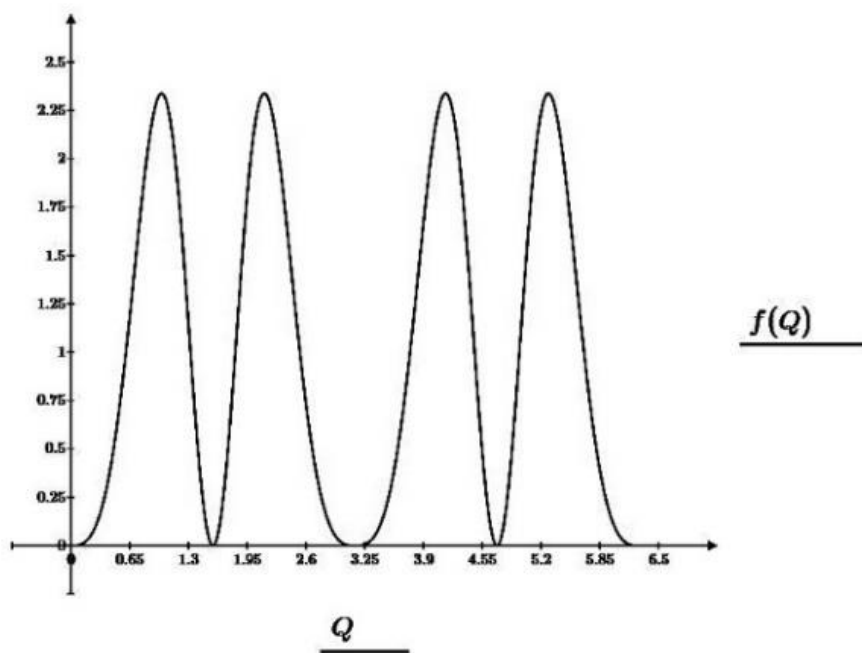


Рис. 5. Диаграмма направленности вибратора длиной $2l = 2\lambda$ в декартовой и полярной системе координат

Тема 2. АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ

Задание: рассчитать и построить в декартовой и полярной системах координат в нормированном и ненормированном виде диаграмму направленности антенной решетки, используя теорему перемножения

Для выполнения расчетов студенту задается:

- 1. число излучателей – n*
- 2. расстояние между элементами d в длинах волн*
- 3. фазовый сдвиг в питании соседних элементов ψ в радианах*
- 4. Диаграмма направленности одного элемента решетки.*

При выполнении задания по теме 2 необходимо рассчитать и построить диаграммы множителя решетки, одного элемента и антенной решетки в целом, показав работу теоремы перемножения.

Антенная решетка – это система идентичных излучателей, одинаково ориентированных в пространстве (рис. 6).

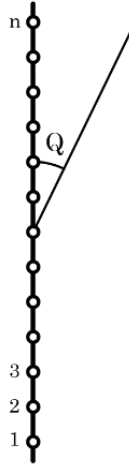


Рис. 6

Диаграмма направленности антенной решетки определяется теоремой перемножения

$$f_{ap}(Q) = f_1(Q) * f_n(Q), \text{ где}$$

$f_1(Q)$ – диаграмма направленности одного элемента решетки.

$f_n(Q)$ – множитель решетки.

Множитель решетки определяется по следующей формуле:

$$f_n(Q) = \left| \frac{\sin\left(\frac{n}{2} * (Kd\cos(Q) - \psi)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2} * (Kd\cos(Q) - \psi)\right)} \right|$$

где n – число излучателей

d – расстояние между элементами в λ

ψ – фазовый сдвиг в питании соседних элементов

На рис. 7 – 9 приведены результаты расчета множителя решетки для различных исходных данных.

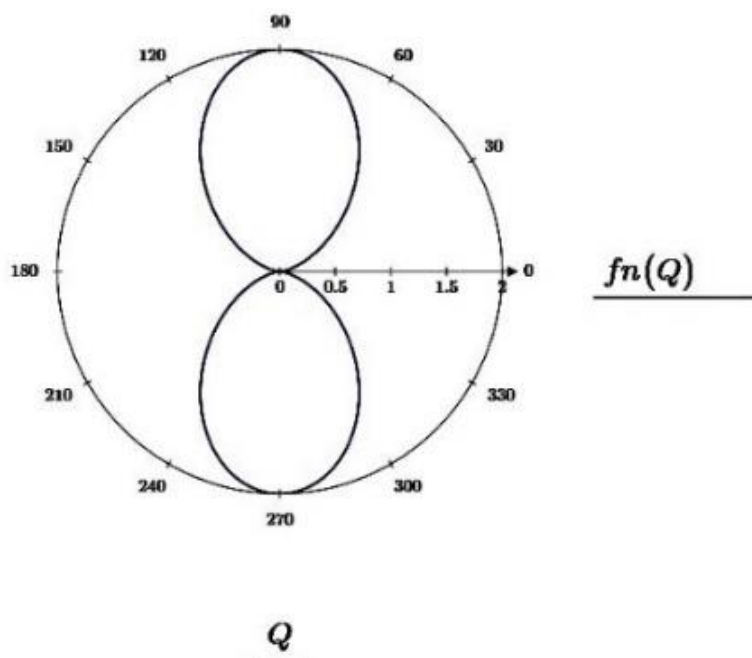
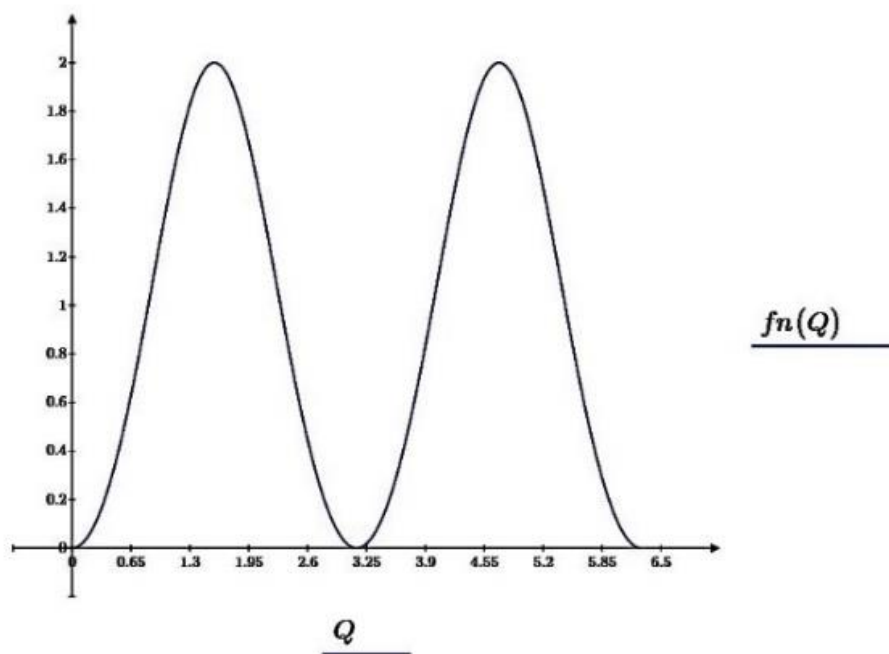


Рис. 7. Множитель решетки в декартовой и полярной системе координат при $n=2$, $d=\lambda/2$, $\psi=0$

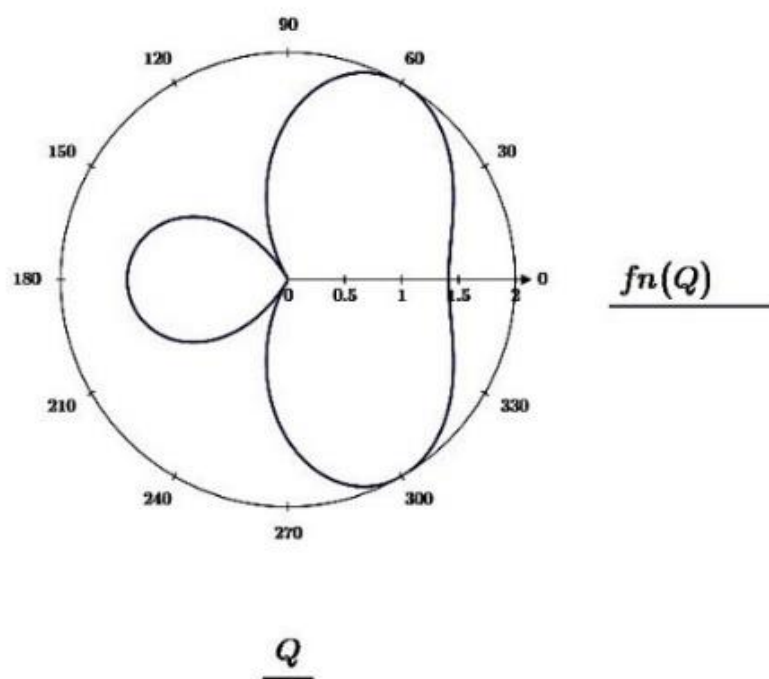
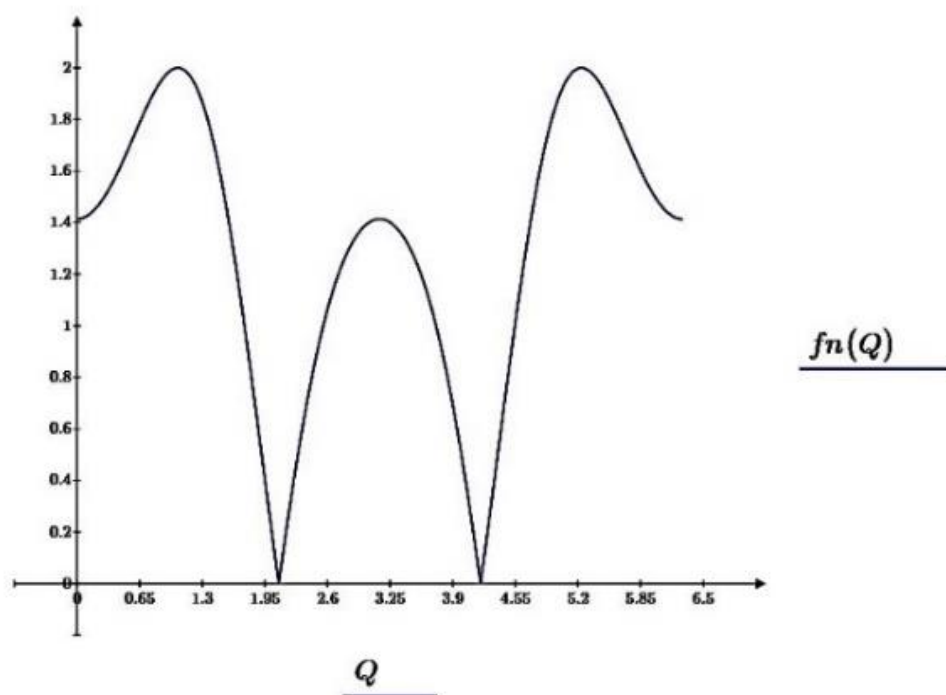


Рис. 8. Множитель решетки в декартовой и полярной системе координат

при $n=2$, $d= \lambda/2$, $\psi= \pi/2$

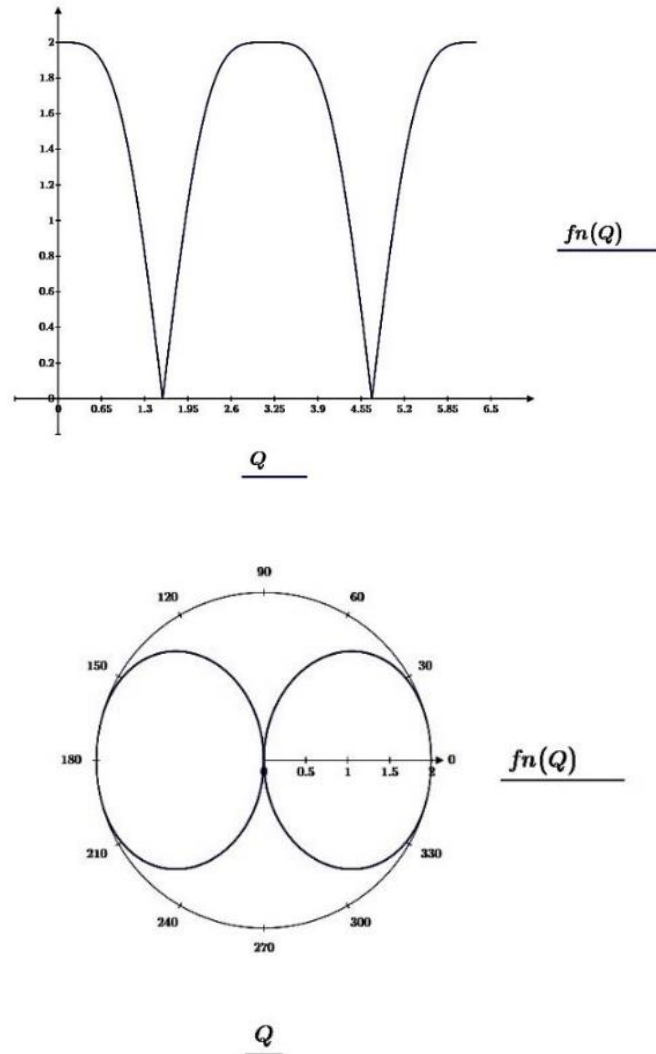


Рис. 9. Множитель решетки в декартовой и полярной системе координат при $n=2$, $d = \lambda/2$, $\psi=\pi$

В качестве диаграммы направленности одного элемента решетки могут использоваться следующие функции:

$$1) f_1(Q) = |\cos(Q)| \quad \text{и} \quad 2) f_1(Q) = \left| \frac{1+\cos(Q)}{2} \right|$$

$$3) f_1(Q) = |\sin(Q)| \quad \text{и} \quad 4) f_1(Q) = \left| \frac{1+\sin(Q)}{2} \right|$$

Диаграммы направленности $f_1(Q)$ для первых двух вариантов приведены на рис. 10, а и 10, б.

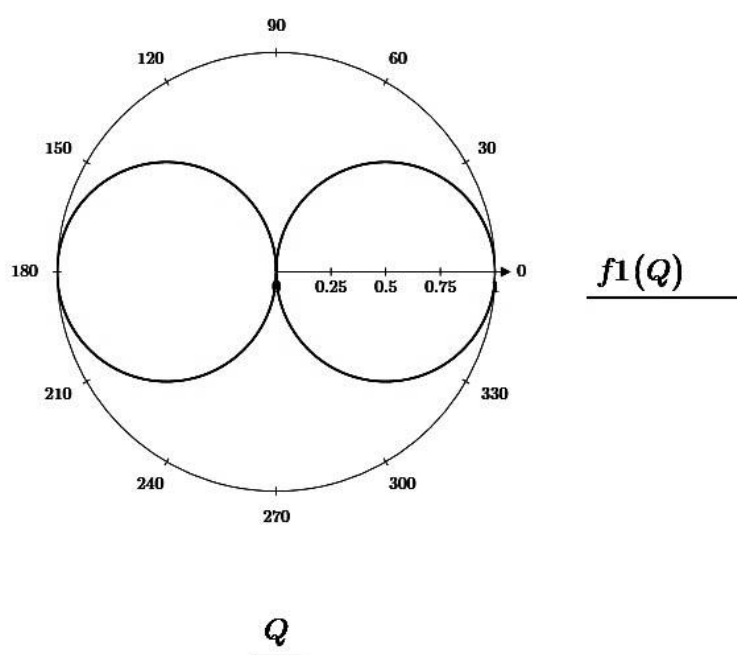
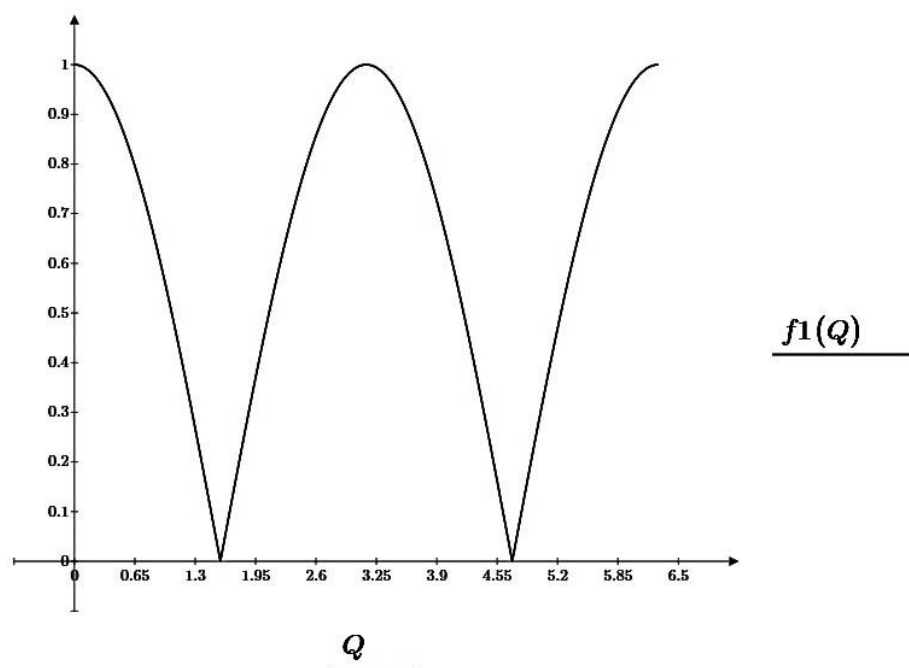


Рис. 10, а. Диаграмма направленности одного элемента решетки

$f_1(Q) = |\cos(Q)|$ в декартовой и полярной системах координат

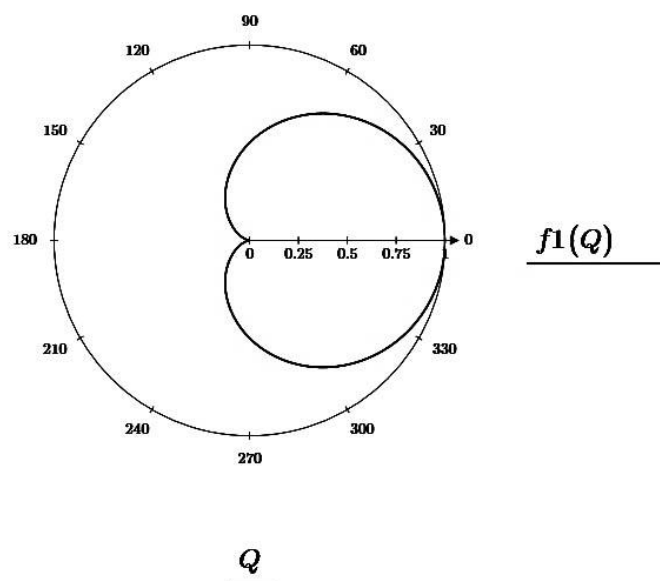
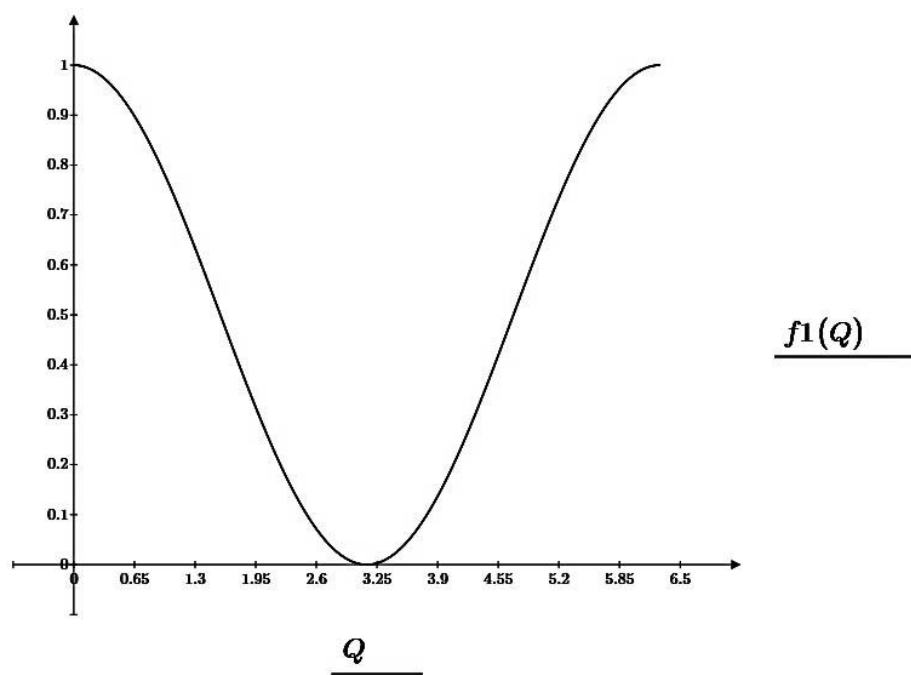


Рис. 10, б. Диаграммы направленности одного элемента решетки

$$f_1(Q) = \left| \frac{1 + \cos(Q)}{2} \right| \text{ в полярной и декартовой системах координат}$$

Результаты, полученные в соответствии с теоремой перемножения, представлены на рис. 11 и 12.

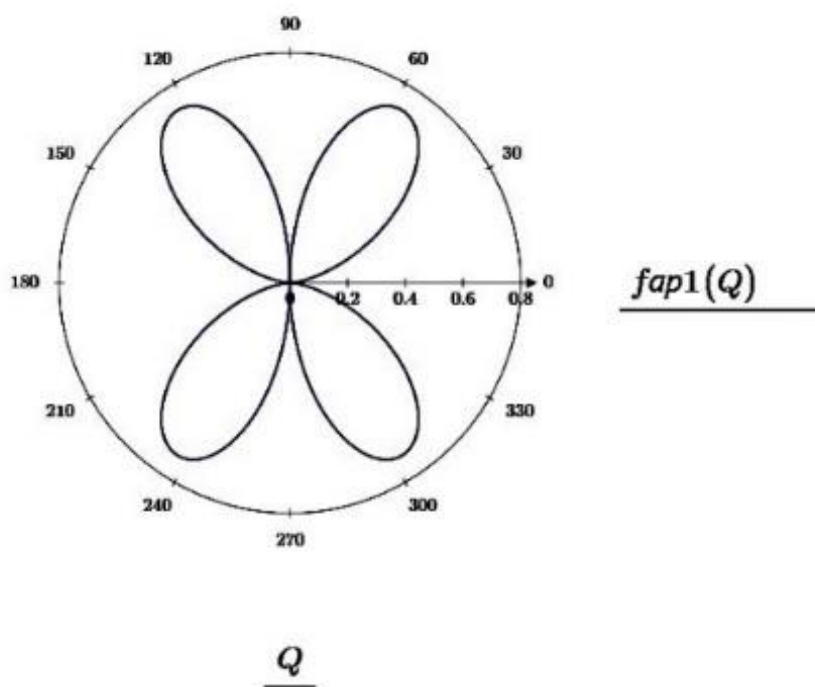
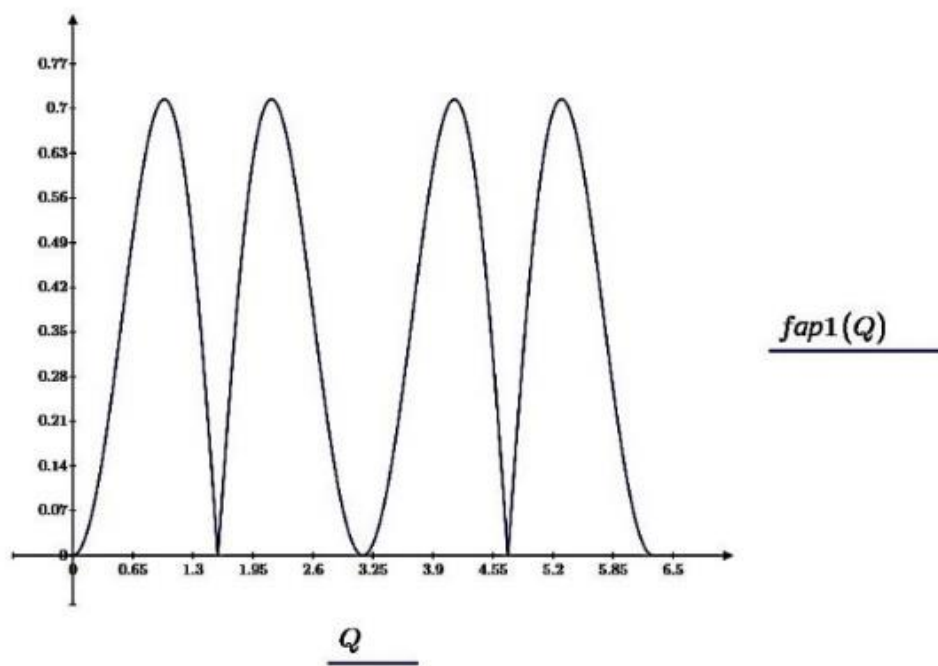


Рис. 11. Диаграмма направленности антенной решетки при

$$n=2, d=\lambda/2, \psi=0 \text{ и } f_1(Q) = |\cos(Q)|$$

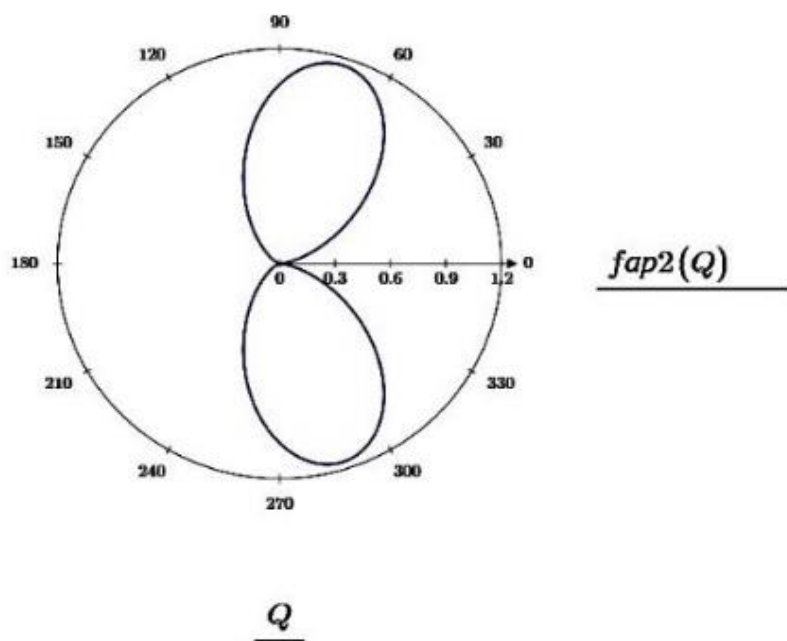
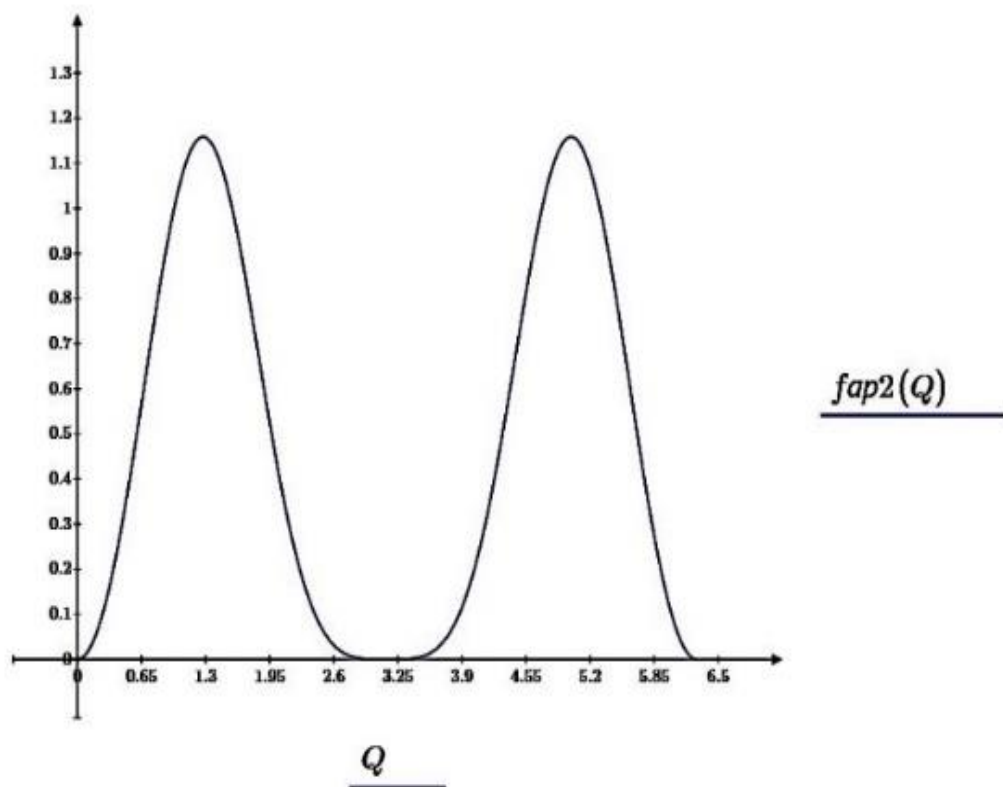


Рис. 12. Диаграмма направленности антенной решетки

при $n=2$, $d=\lambda/2$, $\psi=0$, $f_1(Q) = |\cos(Q)|$.

Варианты индивидуальных заданий для темы № 2

Вариант	Число излучателей	Расстояние между излу- чателями	Фазовый сдвиг ψ (радиан)			
			0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
1,2,3,4	2	$\lambda/2$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
4,6,7,8	2	λ	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
9,10,11,12	2	$3\lambda/2$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
13,14,15,16	2	2λ	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
17,18,19,20	3	$\lambda/2$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
21,22,23,24	3	λ	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
25,26,27,28	3	$3\lambda/2$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
29,30,31,32	3	2λ	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$

Тема 3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УЗКОПОЛОСНОГО СОГЛАСОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММЫ ВОЛЬПЕРТА

Задание: решить задачу узкополосного согласования, используя диаграммы Вольперта.

При выполнении студенту задаются:

1. *Комплексное сопротивление нагрузки $\dot{Z}_H$*
2. *Волновое сопротивление линии передачи $Z_в$*
3. *Тип согласующего устройства (короткозамкнутый или разомкнутый реактивный шлейф; четвертьволновый трансформатор сопротивлений)*
4. *Волновое сопротивление шлейфа $Z_{в\ шл}$*

Решение выполняется в несколько этапов, которые могут быть продемонстрированы на следующих примерах:

Пример № 1

Исходные данные:

- 1) *Сопротивление нагрузки $\dot{Z}_H = 100 + j100 \text{ Ом}$*
- 2) *Волновое сопротивление линии передачи $Z_в = 50 \text{ Ом}$*
- 3) *Тип согласующего устройства – параллельный КЗ шлейф.*
- 4) *$Z_{в\ шл} = Z_в$*

Решение:

Шаг 1. Нормировка $\dot{Z}_H = \frac{Z_H}{Z_B} = \frac{100+j100}{50} = 2 + j2$

Шаг 2. Наносим $\dot{Z}_H$ на диаграмму и определяем модуль коэффициента отражения $|\rho_H| \cong 0.61$ и фазу коэффициента отражения $\varphi_H = 30^\circ$. (рис. 13).

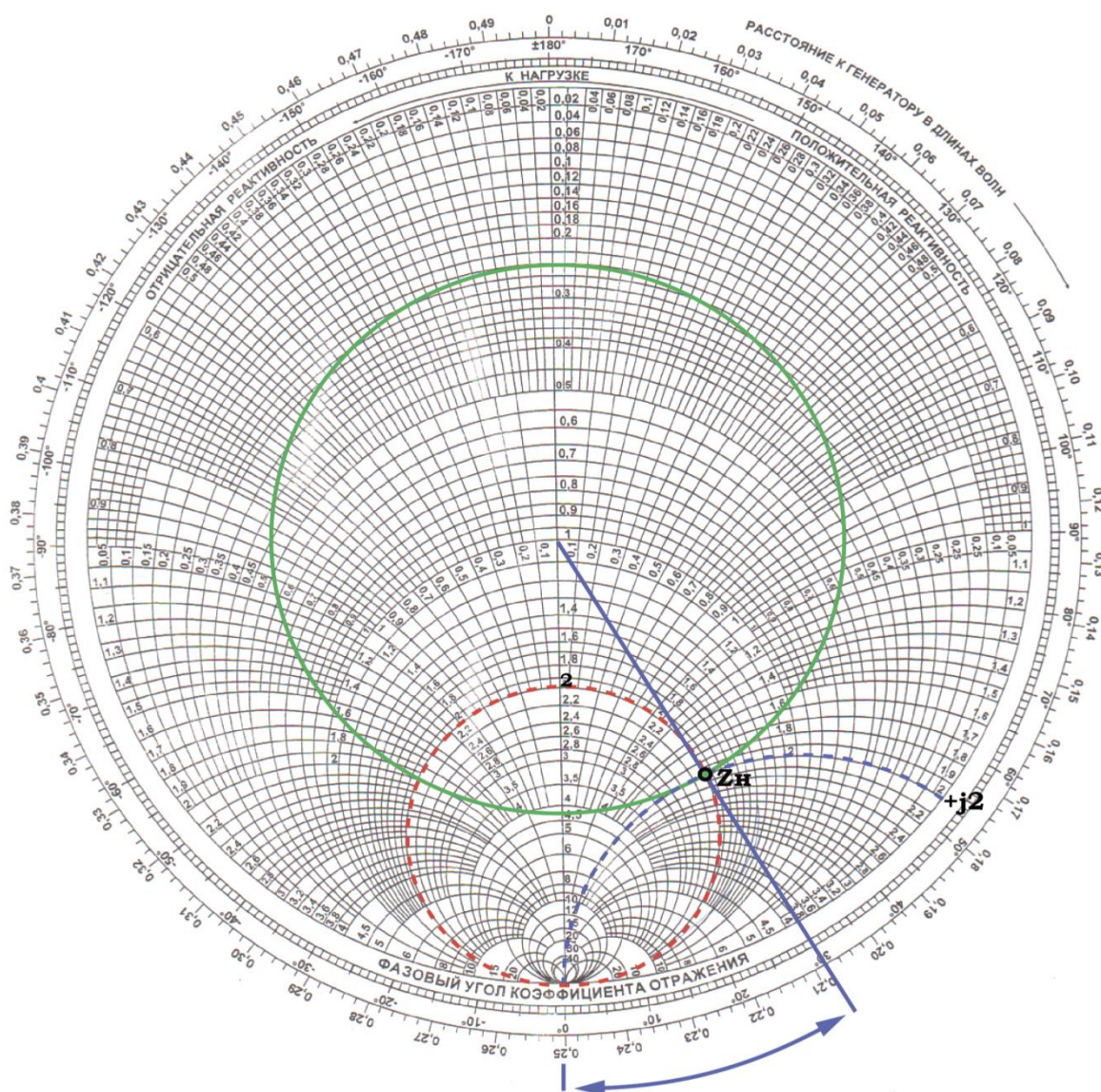


Рис. 13

Шаг 3. Так как устройство согласования включается параллельно, то необходимо от Z'_H перейти к Y'_H (к диаметрально противоположной точке) * Определяем $Y'_H = 0.25 - j0.26$ (рис. 14).

* При решении задач узкополосного согласования последовательным шлейфом необходимости перехода к диаграмме проводимости нет, вся задача решается на диаграмме сопротивлений.

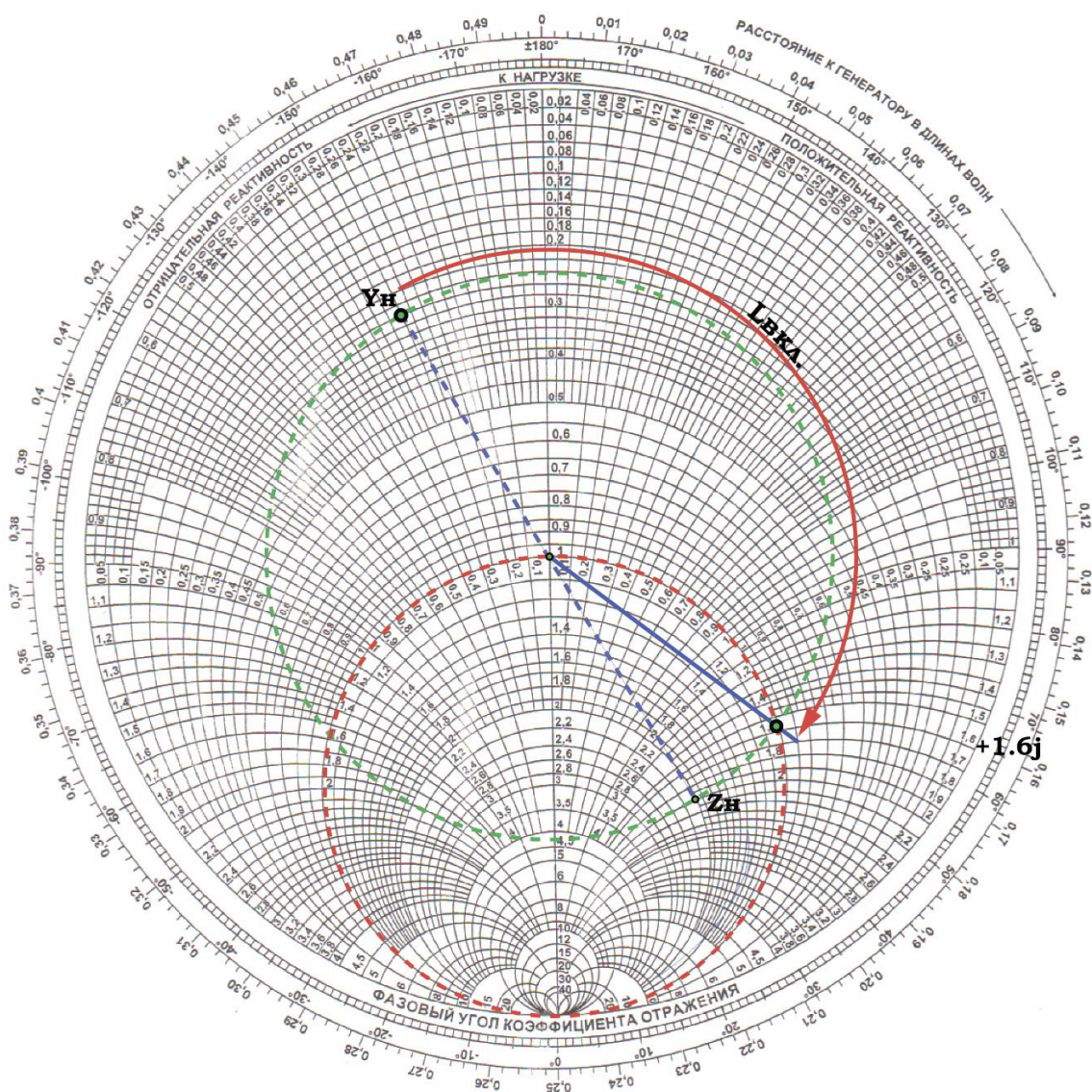


Рис. 14

Для проверки можно использовать следующее соотношение

$$\dot{Y}_H = \frac{1}{Z'_H} = \frac{1(2-j2)}{(2+j2)(2-j2)} = \frac{2-j2}{8} = 0.25 - j0.25$$

Что с допустимым уровнем погрешности соответствует значению, полученному с помощью диаграммы Вольперта.

Шаг 4. От $\dot{Y}_H$ перемещаемся по направлению к генератору до пересечения $|\rho_H| = \text{const}$ с единичной окружностью, где активная проводимость равна 1. Определяем проводимость в точке включения шлейфа $Y_{\text{вкл}} = 1 + j1.6$ и расстояние от точки нагрузки до места включения шлейфа $\psi_{\text{вкл}}$ (рис. 14).

$$L_{\text{вкл.}} = 0.178\lambda + 0.042\lambda = 0.22\lambda$$

Шаг 5. Рассчитываем проводимость шлейфа $Y_{\text{шл}}$ исходя из условия согласования: $Y_{\text{сн}} = 1 + j0$

Отсюда определим $\psi_{\text{шл}}$:

После включения параллельного шлейфа в точку $\psi_{\text{вкл}}$ суммарная проводимость $\psi_{\text{вкл}} + \psi_{\text{шл}}$ должна быть равна $\psi_{\text{сн}} = 1 + j0$.

$$Y_{\text{вкл}} - Y_{\text{сн}} = 1 + j1.6 - 1 - j0 = 0 - j1.6$$

Таким образом: $Y_{\text{шл}} = 0 - j1.6$

Шаг 6. Наносим $Y_{шл}$ на диаграмму и определяем длину шлейфа $L_{шл}$.

Для этого необходимо от точки нагрузки в шлейфе (по условию это КЗ, проводимость $= \infty$) по линии $|\rho_n| = const$ (при КЗ $|\rho_n| = 1$) переместиться по направлению к генератору до точки $Y_{шл}$. Определяем длину шлейфа $L_{шл}$ (рис. 15).

$$L_{шл} = 0,338 \lambda - 0,25 \lambda = 0,088 \lambda.$$

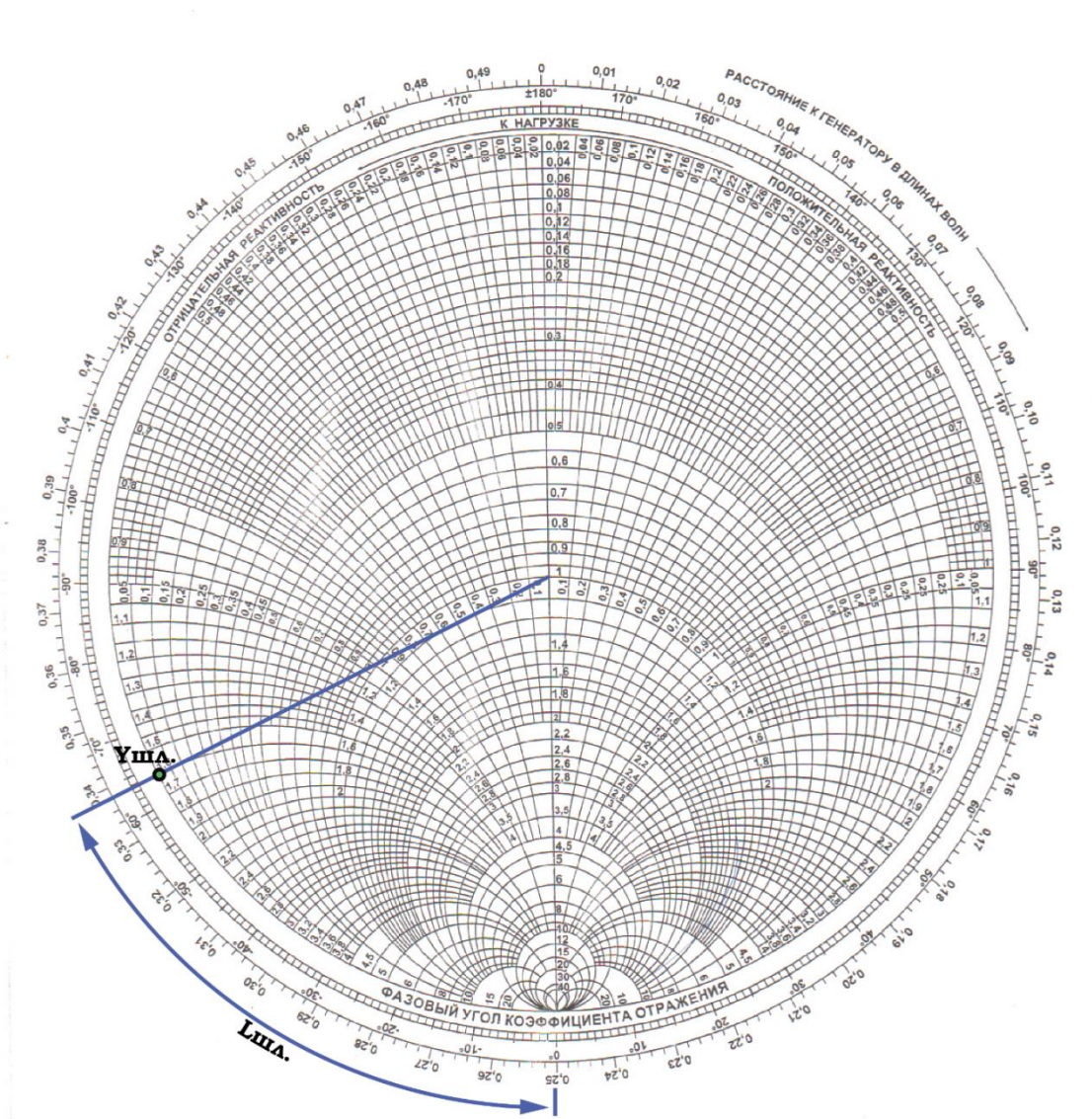


Рис. 15

Замечание. Если $\dot{Z}_{в\ шл} \neq \dot{Z}_в$ то необходимо пересчитать значение $Y_{шл}$ определенное ранее по следующей формуле:

$$\dot{Y}_{шл} = Y_{шл} \frac{Z_{в\ шл}}{Z_{шл}},$$

После чего выполнить шаг 6 для вновь найденной реактивной проводимости шлейфа $\dot{Y}_{шл}$.

Решение задачи узкополосного согласования при помощи четвертьволнового трансформатора сопротивлений при тех же исходных данных может быть продемонстрировано на следующем примере:

Пример № 2

Исходные данные:

1. Сопротивление нагрузки $Z_h=100+j100$ Ом.
2. Волновое сопротивление передачи $Z_в=50$ Ом.
3. Тип согласующего устройства – четвертьволновый трансформатор сопротивлений.

Шаг 1 и шаг 2 аналогичны примеру № 1.

Шаг 3. От $\dot{Z}_н$ необходимо переместиться по линии $|p|=\text{const}$ по направлению к генератору до пересечения с линией $jx=0$ (вертикальная ось на диаграмме Вольперта).

Определяем расстояние от точки $\dot{Z}_н$ до места включения трансформатора сопротивлений $L_{вкл} = 0,25 \lambda - 0,208 \lambda = 0,042 \lambda$.

Шаг 4. Определяем активное сопротивление в точке включения трансформатора $r_{\text{вкл}} = 4,8$ (рис. 16).

Шаг 5. Рассчитываем нормированное волновое сопротивление трансформатора: $Z_{\text{встр}} = \sqrt{4,8} = 2,2$

После ренормирования: $Z_{\text{в тр}} = 2,2 * 50 = 110 \text{ Ом}$.

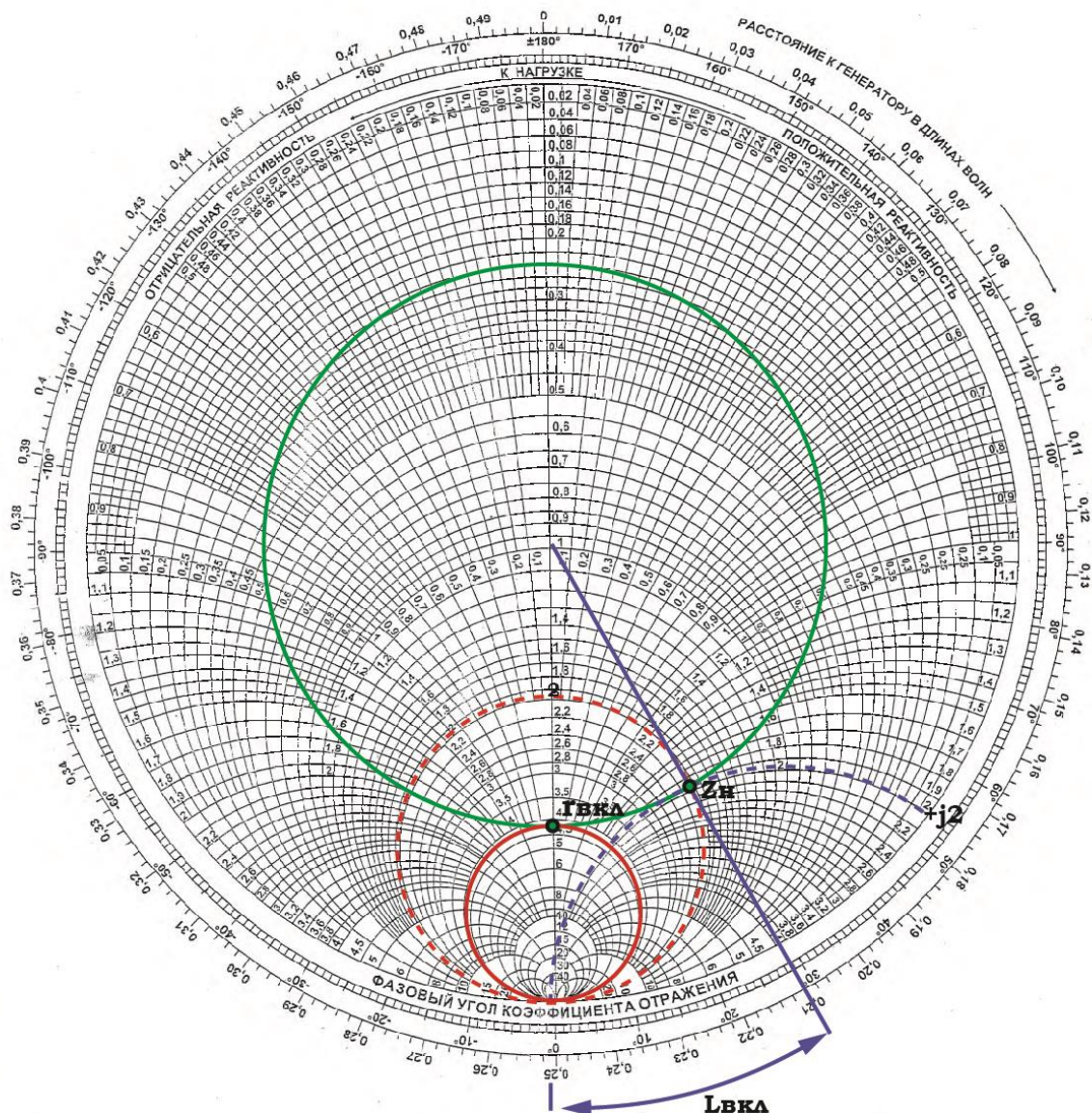


Рис. 16

Варианты индивидуальных заданий по теме № 3

Вариант	Сопротивление нагрузки		Волновое сопротивление	Устройство согласования
	$R_H, \text{ Ом}$	$jX_H, \text{ Ом}$	$Z_B, \text{ Ом}$	
1	20	+j20	50	Параллельный К.З. шлейф
2	30	-j40	50	Параллельный К.З. шлейф
3	40	+j40	50	Параллельный Х.Х. шлейф
4	10	-j50	50	Последовательный Х.Х. шлейф
5	60	+j70	50	Четвертьволновый трансформатор
6	70	-j10	50	Параллельный К.З. шлейф
7	80	+j20	50	Последовательный. К.З шлейф
8	90	-j30	50	Параллельный К.З. шлейф
9	100	+j40	50	Последовательный Х.Х. шлейф
10	110	-j60	50	Четвертьволновый трансформатор
11	120	+j70	50	Четвертьволновый трансформатор
12	130	+j10	50	Последовательный. К.З шлейф
13	140	-j20	50	Четвертьволновый трансформатор

Окончание

Вариант	Сопротивление нагрузки		Волновое сопротивление	Устройство согласования
	$R_H, \text{ Ом}$	$jX_H, \text{ Ом}$		
14	150	-j150	100	Четвертьволновый трансформатор
15	20	-j170	100	Последовательный Х.Х. шлейф
16	30	+j70	100	Последовательный. К.З шлейф
17	40	-j110	100	Параллельный К.З. шлейф
18	50	+j50	50	Параллельный К.З. шлейф
19	10	-j10	50	Параллельный К.З. шлейф
20	20	+j100	100	Последовательный Х.Х. шлейф
21	30	-j120	50	Последовательный. К.З шлейф
22	40	+j150	50	Последовательный. К.З шлейф
23	60	-j10	100	Параллельный К.З. шлейф
24	70	+j20	50	Последовательный. К.З шлейф
25	80	-j160	100	Четвертьволновый трансформатор

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ : учеб. для радиотехн. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 1988. – 432 с.
2. Сазонов Д. М., Гридин А. Н., Мишустин Б. А. Устройства СВЧ : учеб. пособие / под ред. Д. М. Сазонова. – М. : Высш. шк., 1981. – 295 с.
3. Драбкин А. Л., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Антенно-фидерные устройства. – М. : Сов. радио, 1977. – 440 с.
4. Ситнянский Б. Д. Устройства СВЧ : метод. указания к лаб. работам. – Владимир, 2013.
5. Ситнянский Б. Д. Антенны СВЧ : метод. указания к лаб. работам. – Владимир, 2013.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. СИММЕТРИЧНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВИБРАТОР	4
Тема 2. АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ	10
Тема 3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УЗКОПОЛОСНОГО СОГЛАСОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММЫ ВОЛЬПЕРТА	20
Рекомендательный библиографический список	29

УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

Методические указания по выполнению заданий СРС

Составители:

САДОВСКИЙ Николай Владимирович

САДОВСКИЙ Илья Николаевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор О. Р. Никитин

Подписано в печать 07.05.19.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.