

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

Институт инновационных технологий  
Факультет радиофизики, электроники и медицинской техники  
Кафедра радиотехники и радиосистем

Гаврилов В.М.

**«ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И АНТЕНН»**

Самостоятельная работа  
Методические указания

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине  
«Проектирование микросистемных устройств и антенн» для студентов ВлГУ,  
обучающихся по направлению  
11.03.01 Радиотехника  
(шифр направления, название)

Владимир 2015

## **Методические указания к самостоятельной работе с лекционными материалами по дисциплине «Проектирование микроэлектронных устройств и антенн»**

Самостоятельная работа студентов включает домашнюю работу с лекционными материалами. С целью повышения эффективности самостоятельной работы, расширения и углубления теоретических знаний в условиях ограниченного числа аудиторных занятий, в УМК дисциплины включены методические указания к СРС. Методические указания содержат подробный перечень тем лекционных занятий с пространственными указаниями литературных источников, из числа рекомендованных, включающих учебно-методические материалы с лекциями. Необходимые фрагменты литературных источников включены в МУ к СРС.

1. Микрополосковая линии для (п. 6.1., [1] с. 6-24).
2. Щелевая и копланарная линии (п. 6.1., [1] с. 24-28).
3. Связанные линии передачи (п. 6.1., [1] с. 28-31).
4. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ (п. 6.1., [1] с. 40-46).
5. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах (п. 6.1., [1] с. 47-53).
6. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамкатели (п. 6.1., [1] с. 53-56).
7. Направленные ответвители и мосты (п. 6.1., [1] с. 57-67).
8. Делители и сумматоры мощности (п. 6.1., [1] с. 68-75).
9. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала (п. 6.1., [1] с. 76-86).
10. Фильтры СВЧ (п. 6.1., [1] с. 87-100).
11. Автоматизированный анализ линейных радиоэлектронных устройств с помощью программы МАКЕТ (п. 6.1., [3] с. 3-6).
12. Формализация расчета характеристик радиоэлектронных устройств в программе МАКЕТ (п. 6.1., [3] с. 6-11).
13. Входной язык программы МАКЕТ (п. 6.1., [3] с. 11-24).
14. Описание программы МАКЕТ и библиотека элементов (п. 6.1., [3] с. 24-32).
15. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций (КЛ) с. 1-3).
16. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ (КЛ с. 1-3).
17. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ (КЛ с. 3-9).
18. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 11-13).

19. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 13-15).
20. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
21. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).

### **Рейтинг-контроль № 1**

22. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты (КЛ с. 22-25).
23. Свойства одноктактных СВЧ смесителей (КЛ с. 25-31).
24. Сложные схемы СВЧ смесителей (КЛ с. 31-33).
25. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала (КЛ с. 34-38).
26. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты (КЛ с. 39-40).
27. Генераторные диоды с межзащитным переносом элементов (МПД): эквивалентная схема и инженерный метод определения параметров (КЛ с. 57-56).
28. Расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода (КЛ с. 58-59; п. 6.2., [16] с. 168-170).
29. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 59-60; п. 6.2., [16] с. 89-92).
30. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62; п. 6.2., [16] с. 104-108).
31. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 63-64; п. 6.2., [16] с. 120-123).
32. Модель длинной линии для прямоугольной микрополосковой антенны (п. 6.2., [6] с. 5-7).
33. Микрополосковые антенны, возбуждаемые микрополосковой линией (п. 6.2., [6] с. 7-8).
34. Резонаторная модель микрополосковой линии (п. 6.2., [6] с. 8-11).
35. САПР-модель прямоугольной микрополосковой антенны, возбуждаемой коаксиальной линией (п. 6.2., [6] с. 11-14).
36. САПР-модель связанной микрополосковой антенны (п. 6.2., [6] с. 14-16).
37. САПР-модель электромагнитной-связанной микрополосковой антенны (п. 6.2., [6] с. 16-19).
38. Электродинамическая модель, учитывающая основные процессы в структуре антенны (п. 6.2., [6] с. 19-20).
39. Электродинамическая модель дисковой микрополосковой антенны (п. 6.2., [6] с. 23-26).
40. Порядок разработки электромагнитно-связанной микрополосковой антенны на двухслойных подложках (п. 6.2., [6] с. 26-27).
41. Влияние конечных размеров экранной плоскости и подложки (п. 6.2., [6] с. 31-34).

### **Рейтинг-контроль № 2**

42. Увеличение полосы широкополосных антенн добавлением пассивных излучателей (п. 6.2., [6] с. 35-40).
43. Частотно-независимые и логопериодические антенны (п. 6.2., [6] с. 40-42).
44. Широкополосные микрополосковые антенны с пластинами сложной формы (п. 6.2., [6] с. 42-45).
45. Широкополосные микрополосковые антенны с согласующими цепями (п. 6.2., [6] с. 45-49).
46. Микрополосковые антенны с пространственными переходами (п. 6.2., [6] с. 49-51).
47. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны (п. 6.2., [6] с. 51-54).
48. Микрополосковые антенны с круговой поляризацией (п. 6.2., [6] с. 54-58).
49. Щелевые микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п. 6.2., [6] с. 59-61).
50. Логопериодические микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п. 6.2., [6] с. 61-61).
51. Антенны КВЧ диапазона на основе Френелевских зонных пластин (п. 6.2., [6] с. 61-63).
52. Диэлектрические резонаторные антенны (п. 6.2., [6] с. 61-67).
53. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны (п. 6.2., [6] с. 69-71).
54. Микрополосковые антенны с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов (п. 6.2., [6] с. 71-74).
55. Микрополосковые антенны на ферритовых подложках (п. 6.2., [6] с. 74-76).
56. Микрополосковые антенны на подложках из киральных материалов (п. 6.2., [6] с. 76-76).
57. Микрополосковые антенны на подложках из полосо-замирающих материалов (п. 6.2., [6] с. 76-77).
58. Активные микрополосковые антенны (п. 6.2., [6] с. 77-81).
59. Способы сканирования и задачи, решаемые с помощью антенных решеток (п. 6.2., [17] с. 394-396).
60. Фазированные антенные решетки (п. 6.2., [17] с. 396-402).
61. Управление фазированием сканирующих антенных решеток (п. 6.2., [17] с. 402-405).
62. Многолучевые антенные решетки (п. 6.2., [17] с. 405-411).
63. Антенные решетки с частотным сканированием (п. 6.2., [17] с. 411-415).

### **Рейтинг-контроль № 3**

#### **Методические указания к самостоятельному выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Проектирование микроэлектронных устройств и антенн»**

Самостоятельное выполнение расчетно-графической работы способствует более углубленному и конструктивному усвоению теоретического содержания курса, развиваются необходимые для профессиональной деятельности навыки.

Расчетно-графические работы являются базой для оценки системы усвоения теоретического материала и совместно с другими формами учебного процесса учитываются в рейтинг-контроле. Три расчетно-графических работы составляют основу самостоятельной работы студентов и выполняются самостоятельно перед соответствующей промежуточной аттестацией. Задания РГР (№ 1,2,3) приведены ниже. Для каждой РГР подготовлено 5 вариантов. Каждое задание предполагает электрический расчет, разработку конструкции в интегральном исполнении и компьютерный анализ параметров основных МЭУ СВЧ и антенн современных средств связи. Каждое задание содержит подробную ссылку на литературу, в которой изложена инженерная методика решения поставленной задачи.

## Расчетно-графическая работа № 1.

### Вариант 1

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 40\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 30$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 271-297).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 7\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 30$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 42.86$  см ( $f_0 = 0.7$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 297-334).
3. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.02$ . Согласуемые сопротивления:  $r=75$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7.2, [8] с. 270-398).
4. Рассчитать трехдецибелльный двухшлейфный ответвитель для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [9] с. 175-191).

## Вариант 2

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 20\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.3$ ; число заграждаемых гармоник  $P=5$  (вторая-шестая, т.е.  $\nu = 6$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 10$  см ( $f_0 = 3$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 271-297).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 10\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.2$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 20$  дБ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 297-334).
3. Рассчитать ступенчатый переход с максимально плоской частотной характеристикой, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=75$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [8] с. 270-398).
4. Рассчитать трехдецибелльный трехшлейфный ответвитель для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [9] с. 175-191).

### Вариант 3

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 30\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.5$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (четвертая, пятая, шестая, т.е.  $\nu = 6$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 60$  дБ; центральная частота полосы пропускания  $f_0 = 0.7$  ГГц ( $\lambda_0 = 42.86$  см). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 271-297).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 15\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.35$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 297-334).
3. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 10$  см,  $\lambda_n = 5$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=100$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7.2, [8] с. 270-398).
4. Рассчитать гибридное кольцо с равным делением мощности для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [9] с. 175-191).

#### Вариант 4

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник для подавления побочных излучений, удовлетворяющий следующим техническим условиям : полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 20\%$  ;КСВ в полосе пропускания  $< 1.3$ ;полоса подавления побочных излучений  $f_{31} - f_{32} = 1.3f_2 - 4.5f_2$ , где  $f_{31}, f_{32}$  –соответственно граничные частоты полосы заграждения,  $f_2$ -наивысшая частота полосы пропускания; уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ ; центральная частота полосы пропускания  $f_0 = 0.7$  ГГц ( $\lambda_0 = 42.86$ см). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6; tg\delta = 0.001; b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 271-297).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 15\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ;число заграждаемых гармоник  $P=5$  (вторая, третья, четвертая, пятая, шестая т.е.  $\nu = 6$ ) ; уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 42.86$  см ( $f_0 = 0.7$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6; tg\delta = 0.001; b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 297-334).
3. Рассчитать ступенчатый переход с максимально плоской частотной характеристикой, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 10$  см ,  $\lambda_n = 5$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=100$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6; tg\delta = 0.001; b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [8] с. 270-398).
4. Рассчитать направленный ответвитель на связанных МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм)для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Номинальное значение переходного ослабления  $S_0 = -15$ дБ. Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [8] с. 71-94).



## Вариант 5

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 40\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 30$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 271-297).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 10\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.35$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 60$  дБ. Минимальная ширина полоскового проводника в звене  $W \geq 0.1$  мм. Центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление входов  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [7] с. 297-334).
3. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 15$  см,  $\lambda_n = 7.5$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.02$ . Согласуемые сопротивления:  $r=80$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [8] с. 270-398).
4. Рассчитать одноступенчатый трехдецибельный кольцевой делитель мощности для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Делитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.6.2, [8] с. 168-176).

## Расчетно-графическая работа № 2

### Вариант 1

1. Рассчитать проходной фазовращатель на двухшлейном трёхдецибельной мосте, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=45^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 1500$  МГц, коммутируемая импульсная мощность 80 Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загораживания  $L_3 > 30$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 0.5$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 10$  мВт. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель последовательного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7.2, [10],[11],[12],[13]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 1-3 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.1, [1]; п. 6.2,[14]).

## Вариант 2

1. Рассчитать проходной шлейфный фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=22,5^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 2$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загараждения  $L_3 > 40$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 15$  мВт,. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 2-4 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.1, [1]; п. 6.2,[14]).

### Вариант 3

1. Рассчитать проходной фазовращатель на переключаемых линиях, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=90^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 2$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загораждения  $L_3 > 40$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 15$  Вт., Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельно-последовательного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2,[10],[11],[12],[13]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 3-5 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.1, [1]; п. 6.2,[14]).

#### Вариант 4

1. Рассчитать петлевой фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=180^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 3$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 2,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загараждения  $L_3 > 60$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1,5$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 25$  мВт,. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель с четвертьволновыми коммутируемыми шлейфами, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2,[10],[11],[12],[13]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 4-6 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.1, [1]; п. 6.2,[14]).

## Вариант 5

1. Рассчитать проходной фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=45^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 3.5$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{\text{и}} = 3 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{\text{п}} = 10^{-3}$  с., потери загораживания  $L_3 > 65$  дБ, потери пропускания  $L_{\text{п}} < 2$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{\text{пор.}} > 25$  мВт. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.6.2, [10],[11],[12],[13]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельного типа с четвертьволновыми коммутируемыми шлейфами, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{\text{ок}} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{\text{зк}} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2,[10],[11],[12],[13]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 5-7 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.1, [1]; п. 6.2,[14]).

## Расчетно-графическая работа № 3

### Вариант 1

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5$  ГГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 10 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $t g \delta = 0.0001$ ;  $h = 1 \text{ мм}$ ;  $t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.6.2, [10],[13],[15]).
2. Привести варианты и описать свойства планарных антенн с круговой поляризацией, (п.6.2, [5],[6]).
3. Описать свойства и привести пример конструкции планарных антенн с подвешенными пластинами и пространственными переходами, (п.6.2, [5],[6]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов, (п.6.2, [5],[6]).

## Вариант 2

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5$  ГГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_{\text{г}} < 1 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.6.2, [10],[13],[15]).
2. Рассмотреть вопрос увеличения полосы планарных антенн добавлением пассивных излучателей, (п.6.2, [5],[6]).
3. Рассмотреть общие принципы конструирования диэлектрических резонаторных антенн, (п.6.2, [5],[6]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на ферритовых подложках, (п.6.2, [5],[6]).



### Вариант 3

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_{\text{г}} < 3 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.6.2, [10],[13],[15]).
2. Привести варианты и описать свойства частотно-независимых и логопериодических планарных антенн, (п.6.2, [5],[6]).
3. Рассмотреть особенности конструирования цилиндрических и прямоугольных резонаторных антенн, (п.6.2, [5],[6]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из киральных материалов, (п.6.2, [5],[6]).

#### Вариант 4

1. Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50$  Ом; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 3$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 1$  мВт. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[13],[15]).
2. Привести варианты и описать свойства широкополосных планарных антенн с пластинами сложной формы, (п.6.2, [5],[6]).
3. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических резонаторных антенн с круговой поляризацией, (п.6.2, [5],[6]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из электромагнитных полосоугрожающих материалов, (п.6.2, [5],[6]).

## Вариант 5

1. Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 7.5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 5$  мВт. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.6.2, [10],[13],[15]).
2. Описать методику и привести пример расширения полосы планарных излучателей с помощью согласующих цепей, (п.6.2, [5],[6]).
3. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических антенн с увеличенной полосой частот, (п.6.2, [5],[6]).
4. Привести варианты и пояснить принципы действия SMART-антенны с азимутальным сканированием, (п.6.2, [5],[6]).

## 6.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПМЭУ и А

### 6.1. Основная литература:

1. Веселов Г.И. и др. Микроэлектронные устройства СВЧ: Уч. пособие для радиотехнических специальностей вузов \ Под ред. Г.И. Веселова. – М.: Высшая школа, 1988, -280 с.
2. Сазонов Д.М. и др. Устройства СВЧ: Уч. пособие для вузов \ Под ред. Д.М. Сазонова. – М.: Высшая школа, 1981, - 295 с.
3. Мишустин Б.А. Автоматизированный анализ линейных радиоэлектронных устройств. – М.: МЭИ, 1985, - 64 с.

### 6.2. Дополнительная литература

1. Никольский В.В. и др. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ \ Под ред. В.В.Никольского. – М.: Радио и связь, 1982, - 272 с.
2. Гвоздев В.И., Нефедов Е.И., Объёмные интегральные схемы СВЧ. – М.: Наука, 1985, - 256 с.
3. Гасанов Л.Г. и др. Твёрдотельные устройства СВЧ в технике связи. – М.: Радио и связь, 1990, - 288 с.

4. Фуско В. СВЧ цепи \ Анализ и автоматизированное проектирование \ Пер. с англ. Д.А. Вольмана – М.: Радио и связь, 1990, - 287 с.
5. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны. – М.: Радио и связь, 1986, - 144 с.
6. Лось В.Ф. Микрополосковые и диэлектрические резонаторные антенны. САПР-модели: методы математического моделирования. – Антенны, 2002, вып 11 (66), с.3-80.
7. Справочник по элементам полосковой техники / Мазепова О.И. и др./ Под ред. А.Л. Фельдштейна.- М.: Связь, 1979.-336с.
8. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. Изд. 2-е. М.: Сов. Радио, 1967.-652с.
9. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М.: Сов. Радио, 1972.-232с.
10. Полупроводниковые диоды. Сверхвысокочастотные диоды. Справочник / Б.А. Наливайко и др. Под. Ред. Б.А. Наливайко.-Томск: МГП «РАСКО», 1992.-223с.
11. Проектирование управляющих устройств на коммутационных диодах. Гридин А.Н.-М.: Моск. Энерг. ин-т, 1986.-48 с.
12. Хижа Г.С., Вендик И.Б., Серебряков Е.А. СВЧ фазовращатели и переключатели: Особенности создания на р-і-п-диодах в интегральном исполнении.- М.: Радио и связь, 1984.-184с.
13. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н.Т. Бова и др. К.: Техніка, 1984.-184с.
14. Петров Г.В., Толстой А.И. Линейные балансные СВЧ усилители.-М.: Радио и связь, 1983.-176с.
15. Автоматизированное проектирование микроминиатюрных полупроводниковых узлов СВЧ радиоприемных устройств. Текшев В.Б., Разевиг В.Д., Плигин С.Г. д. ред. В.Д. Разевига.- М.: Моск. Энерг. ин-т, 1987.-100с.
16. Давыдова Н.С., Далюшевский Ю.З. Диодные генераторы и усилители СВЧ.- М.: Радио и связь, 1986. -184 с.
17. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. Учеб. для радиотех. спец. вузов. –М.: Высш. шк., 1988. -432 с.

### 6.3. Методическая литература

1. Гаврилов В.М., Садовский Н.В., Ситнянский Б.Д. Расчёт на ЭВМ параметров полосовых линий и фазированных антенных решёток. Метод. указания по применению прикладных программ. Владимир, 1987,- 33 с.

2. Гаврилов В.М. Лабораторные работы по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014.-100 с.
3. Гаврилов В.М. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -15 с.
4. Гаврилов В.М. Методические указания к СРС по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -16 с.
5. Гаврилов В.М. Методические указания к лекциям по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -5 с.

#### 6.4. Приложение по стандартизации

1. ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
2. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Конструкторские документы на микро-устройствах.
3. ГОСТ 3.1102-81 ЕСКД. Виды технологической документации в микроэлектронике.
4. ГОСТ 2.417-78. ЕСКД. Правила выполнения чертежей печатных плат.