

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет

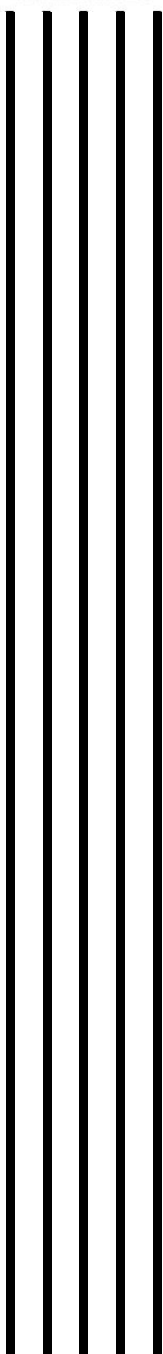
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ № 1**

по дисциплине

«Устройства СВЧ и антенны»

для студентов направления 6.050901 — «Радиотехника»

дневной формы обучения



Севастополь
2013

Методические указания к расчетно-графическому заданию № 1 по дисциплине «Устройства СВЧ и антенны» для студентов направления 6.050901 — «Радиотехника» дневной формы обучения / СевНТУ; сост. В.В. Головин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. — 20 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам дневной формы обучения в изучении дисциплины «Устройства СВЧ и антенны», а также при выполнении расчетно-графического задания, предусмотренного учебным планом специальности.

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций
(протокол № 9 от 23.04.2012 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний для выполнения расчетно-графического задания.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Лащенко И.В.

Ответственный за выпуск:
заведующий кафедрой радиотехники
и телекоммуникаций
доктор техн. наук, профессор

Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Исходные данные для расчетно-графического задания.....	5
1.1. Задача № 1. Исследование режима работы линий передачи.....	5
1.2. Задача № 2. Сравнительный анализ частотных характеристик различных методов согласования линии передачи с нагрузкой.....	6
2. Методические рекомендации.....	8
2.1. Методические рекомендации к выполнению задачи № 1.....	8
2.2. Методические рекомендации к выполнению задачи № 2.....	11
Библиографический список.....	18
Приложение А. Образец оформления титульного листа расчетно- графического задания № 1.....	19

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении расчетно-графического задания студент **обязан**:

- ознакомиться с содержанием индивидуальных заданий;
- используя методические рекомендации и учебную литературу изучить методику расчетов;
- выполнить расчеты и оформить их в соответствии с требованиями кафедры.

Защита расчетно-графического задания производится каждым студентом индивидуально на практическом занятии по дисциплине «Устройства СВЧ и антенны». В процессе защиты проверяются: правильность оформления отчета, знание студентами методики расчета требуемых величин и умение анализировать характер полученных зависимостей и обосновывать выводы к работе.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями кафедры к оформлению текстовых документов [7].

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- исходные данные для индивидуального задания;
- модели и схемы, описывающие рассчитываемое устройство;
- результаты расчетов;
- выводы по каждой задаче.

Образец оформления титульного листа приведен в Приложении А.

Исходные данные выбираются каждым студентом в соответствии с предпоследней (*m*) и последней (*n*) цифрами номера зачетной книжки.

Выводы должны носить конкретный характер по каждой из поставленных задач. Не следует подменять выводы перечислением выполненных расчетов. Необходимо пояснить особенности полученных результатов.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1.1. Задача № 1. Исследование режима работы линий передачи

Линия передачи длиной l с волновым сопротивлением ρ нагружена на сопротивление $Z_H = R_H + jX_H$. Известны амплитуда напряжения источника сигнала на входе линии передачи $U_{ВХ}$ и значение сопротивления нагрузки Z_H . Исходные данные для расчета выбираются из таблиц 1.1, 1.2.

Необходимо выполнить следующее:

а) построить графики распределений вдоль линии передачи амплитуд напряжения и тока, когда значение сопротивления нагрузки:

— $Z_H = R_H + jX_H$;

— $Z_H = R_H$;

— $Z_H = jX_H$.

б) построить графики распределений вдоль линии передачи активной и реактивной составляющих сопротивления $Z(x)$, когда значение сопротивления нагрузки:

— $Z_H = R_H + jX_H$;

— $Z_H = R_H$;

— $Z_H = jX_H$.

Таблица 1.1 — Исходные данные для задачи № 1

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ρ , Ом	50	75	90	50	75	90	50	75	90	50
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l/λ	0,7	1,2	0,6	1,1	0,8	0,9	0,7	1,2	0,6	1,1

Таблица 1.2 — Исходные данные для задачи № 1: значения сопротивления нагрузки Z_H

m	n									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	140-j50	40-j180	200+j50	350+j20	90+j180	45+j60	124+j70	100+j30	100+j60	75+j50
1	85-j80	50-j40	50-j150	40-j220	80-j80	90-j60	80-j120	80-j40	80-j180	50-j30
2	64+j56	40+j80	40+j100	150+j40	50+j80	135+j15	106+j64	100+j50	180+j80	150+j75
3	90-j140	50-j50	50-j180	50+j120	40-j80	44-j100	53-j77	82-j110	85-j121	100-j75
4	250+j50	50+j80	150+j76	110+j30	115+j46	63+j95	174+j90	140+j45	46+j100	50+j75
5	80-j80	40-j40	40+j20	50-j120	125-j140	45-j150	83-j165	10-j130	100-j48	100-j50
6	40-j50	50+j40	50+j50	140+j50	240+j60	40+j160	80+j205	217+j67	267+j90	90+j50
7	110-j90	50+j80	50-j100	140-j50	140+j40	150-j100	100-j140	65-j175	100-j100	75-j30
8	50-j145	50+j40	180-j50	180-j90	89-j45	80-j160	240-j120	140-j40	56-j100	50+j30
9	80+j140	80+j80	50+j100	100+j85	35+j220	100+j25	200+j40	208+j90	200+j80	150+j32

1.2. Задача № 2. Сравнительный анализ частотных характеристик различных методов согласования линии передачи с нагрузкой

К линии передачи с волновым сопротивлением ρ подключается сопротивление нагрузки $Z_H = R_H + jX_H$. Для обеспечения максимального коэффициента полезного действия линии передачи нагрузка подключается через согласующее устройство (СУ), которое в относительной полосе частот ξ позволяет в точке подключения СУ обеспечить диапазон изменения значения коэффициента стоячей волны $K_{CB} \in [1; K_{CB}^{\text{доп}}]$. Исходные данные для расчета выбираются из таблиц 1.3, 1.4.

Необходимо выполнить следующее:

- определить полосу частот одноступенчатого четвертьволнового трансформатора и сравнить полученное значение с заданным;
- оценить необходимый коэффициент трансформации одноступенчатого четвертьволнового трансформатора для работы его в заданной полосе частот;
- определить полосу частот одноступенчатого четвертьволнового трансформатора с компенсатором и сравнить полученное значение с заданным;
- определить полосу частот одноступенчатого четвертьволнового трансформатора с двумя компенсаторами и сравнить полученное значение с заданным;

д) определить полосу частот двухступенчатого четвертьволнового трансформатора и сравнить полученное значение с заданным;

е) сделать выводы.

Таблица 1.3 — Исходные данные для задачи № 2

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ρ , Ом	50	75	90	50	75	90	50	75	90	50
ξ , %	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80
m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{\text{добр}}^{\text{добр}}$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	3

Таблица 1.4 — Исходные данные для задачи № 2: значения сопротивления нагрузки Z_H

m	n									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	40+j20	40+j40	40+j50	50+j20	50+j40	50+j60	100+j20	100+j30	100+j60	75+j50
1	50-j20	50-j40	50-j50	40-j20	40-j40	40-j60	80-j20	80-j40	80-j80	50-j30
2	40+j50	40+j80	40+j100	50+j50	50+j80	50+j100	100+j40	100+j50	100+j80	150+j75
3	40-j40	50-j50	50-j80	40-j50	40-j80	40-j100	50-j50	50-j80	50-j100	100-j75
4	50+j50	50+j80	50+j100	100+j40	100+j50	100+j80	40+j50	40+j80	40+j100	50+j75
5	40-j20	40-j40	40-j50	50-j20	50-j40	50-j50	100-j80	100-j30	100-j60	100-j50
6	50+j20	50+j40	50+j50	40+j20	40+j40	40+j60	80+j20	80+j40	80+j80	90+j50
7	40-j50	50+j80	50-j100	40-j50	40-j80	50-j100	100-j40	100-j50	100-j80	75-j30
8	50-j45	50+j40	80-j50	80-j20	80-j40	80-j60	40-j20	40-j40	40-j100	50+j30
9	80+j40	80+j80	50+j100	10+j120	100+j20	100+j25	200+j40	200+j100	200+j80	150+j32

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

2.1. Методические рекомендации к выполнению задачи № 1

Пусть двухпроводная линия длиной l , ко входу которой подключен генератор, нагружена на комплексное сопротивление Z_H . Поместим начало отсчета координат x в сечение нагрузки (рис. 2.1).

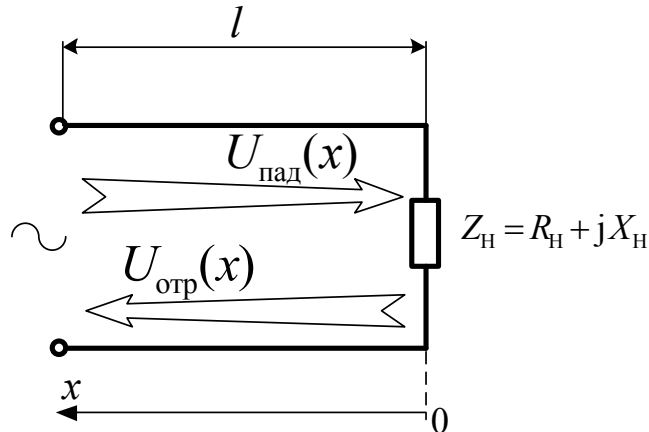


Рис. 2.1 — Модель двухпроводной линии передачи, нагруженной на сопротивление Z_H

Генератор создает падающую волну $U_{\text{пад}}(x)$, которая распространяется в направлении нагрузки (см. рис. 2.1). Если энергия генератора не полностью поглощается нагрузкой, то образуется отраженная волна $U_{\text{отр}}(x)$, которая распространяется в направлении генератора (см. рис. 2.1).

Распределения напряжения и тока вдоль линии передачи можно описать с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} U(x) = U_{\text{пад}}(x) + U_{\text{отр}}(x); \\ I(x) = I_{\text{пад}}(x) + I_{\text{отр}}(x), \end{cases} \quad (2.1)$$

где $U_{\text{пад}}(x)$ и $I_{\text{пад}}(x)$ — падающие волны напряжения и тока; $U_{\text{отр}}(x)$ и $I_{\text{отр}}(x)$ — отраженные волны напряжения и тока.

В линии передачи без потерь амплитуды падающих волн $U_{\text{пад}}(x)$ и $I_{\text{пад}}(x)$ и отраженных волн $U_{\text{отр}}(x)$ и $I_{\text{отр}}(x)$ от переменной x не зависят, поэтому их можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} |U_{\text{пад}}(x)| &= U_{\text{пад}}; |I_{\text{пад}}(x)| = I_{\text{пад}}; \\ |U_{\text{отр}}(x)| &= U_{\text{отр}}; |I_{\text{отр}}(x)| = I_{\text{отр}}. \end{aligned}$$

С учетом выбранного начала отсчета фазы в точке подключения нагрузки и направления отсчета продольной координаты x (от нагрузки к генератору) падающие и отраженные волны можно записать в виде:

$$\begin{cases} U_{\text{пад}}(x) = U_{\text{пад}} e^{jkx}; \\ U_{\text{отр}}(x) = U_{\text{отр}} e^{-jkx}; \end{cases} \begin{cases} I_{\text{пад}}(x) = \frac{U_{\text{пад}}(x)}{\rho}; \\ I_{\text{отр}}(x) = -\frac{U_{\text{отр}}(x)}{\rho}. \end{cases} \quad (2.2)$$

Так как отраженная волна порождается падающей в точке $x=0$, обычно вводят в рассмотрение коэффициент отражения по напряжению $\Gamma(x)$:

$$\Gamma(x) = \frac{U_{\text{отр}}(x)}{U_{\text{пад}}(x)} = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{пад}}} e^{-j2kx}. \quad (2.3)$$

Коэффициента отражения в нагрузке определяется по формуле

$$\Gamma_n = \Gamma(0) = \Gamma_0 e^{j\Psi_0}, \quad (2.4)$$

где Γ_0 , Ψ_0 — модуль и фаза коэффициента отражения в точке подключения нагрузки.

Из (2.2) для падающей и отраженной волн тока видно, что коэффициент отражения по току $\Gamma_I(x)$ связан с $\Gamma(x)$ соотношением

$$\Gamma_I(x) = -\Gamma(x).$$

С учетом выражений (2.3) и (2.4) можно (2.1) преобразовать следующим образом:

$$\begin{cases} U(x) = U_{\text{пад}}(x)[1 + \Gamma(x)]; \\ I(x) = I_{\text{пад}}(x)[1 - \Gamma(x)]. \end{cases} \quad (2.5)$$

После подстановки (2.3) и (2.4) в (2.5) получим выражения для распределений амплитуд напряжения и тока вдоль линии передачи:

$$\begin{cases} |U(x)| = U_{\text{пад}} \sqrt{1 + \Gamma_0^2 + 2\Gamma_0 \cos(\Psi_0 - 2kx)}; \\ |I(x)| = I_{\text{пад}} \sqrt{1 + \Gamma_0^2 - 2\Gamma_0 \cos(\Psi_0 - 2kx)}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Рассмотрим особенности распределения напряжения и тока вдоль линии передачи. Из (2.6) следует, что амплитуда напряжения максимальна в сечениях x_{max} , которые удовлетворяют условию

$$\Psi_0 - 2kx_{\text{max}} = 2\pi n, \quad (2.7)$$

где $n=0,1,2,\dots$

Местоположение первого относительно нагрузки максимума напряжения из (4.7) определяется по следующей формуле

$$x_{\text{max}1} = \frac{\Psi_0}{4\pi} \lambda. \quad (2.8)$$

Амплитуда напряжения минимальна в сечениях x_{min} , которые удовлетворяют условию

$$\Psi_0 - 2kx_{\text{min}} = \pm\pi + 2\pi n, \quad (2.9)$$

где $n=0,1,2,\dots$

Положение первого относительно нагрузки минимума напряжения в линии передачи определяется по формуле

$$x_{\min 1} = \frac{\Psi_0}{4\pi} \lambda \pm \lambda/4 = x_{\max 1} \pm \lambda/4. \quad (2.10)$$

При этом максимальные и минимальные значения напряжения и тока в линии передачи определяются соотношениями, следующими из (4.6)

$$\begin{cases} U_{\max} = U_{\text{пад}}(0)(1 + \Gamma_o); \\ U_{\min} = U_{\text{пад}}(0)(1 - \Gamma_o); \end{cases} \begin{cases} I_{\max} = I_{\text{пад}}(0)(1 + \Gamma_o); \\ I_{\min} = I_{\text{пад}}(0)(1 - \Gamma_o). \end{cases} \quad (2.11)$$

Для удобства описания режимов работы линии передачи вводят понятие коэффициента стоячей волны $K_{\text{СВ}}$, как отношение амплитуд максимального и минимального напряжений в линии

$$K_{\text{СВ}} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}.$$

С учетом (2.11) можно получить соотношения, связывающие $K_{\text{СВ}}$ и Γ_0 :

$$K_{\text{СВ}} = \frac{1 + \Gamma_0}{1 - \Gamma_0}; \quad \Gamma_0 = \frac{K_{\text{СВ}} - 1}{K_{\text{СВ}} + 1} \quad (2.12)$$

Сопротивление $Z(x)$, соответствующее заданному сечению x линии передачи определяется с учетом (2.5) следующими соотношениями

$$Z(x) = \frac{U(x)}{I(x)} = \rho \frac{1 + \Gamma(x)}{1 - \Gamma(x)}. \quad (2.13)$$

Из (2.13) можно получить выражение для определения сопротивления нагрузки

$$Z(x=0) = Z_{\text{Н}} = \rho \frac{1 + \Gamma_{\text{Н}}}{1 - \Gamma_{\text{Н}}}. \quad (2.14)$$

На основании (2.14) коэффициент отражения в нагрузке $\Gamma_{\text{Н}}$ можно рассчитать по формуле

$$\Gamma_{\text{Н}} = \frac{Z_{\text{Н}} - \rho}{Z_{\text{Н}} + \rho}. \quad (4.15)$$

С учетом (2.3) и (2.13) распределение комплексного сопротивления вдоль линии передачи можно рассчитать по формуле

$$Z(x) = \rho \frac{Z_{\text{Н}} + j\rho \operatorname{tg} kx}{\rho + jZ_{\text{Н}} \operatorname{tg} kx}. \quad (2.16)$$

2.2. Методические рекомендации к выполнению задачи № 2

Под согласованием понимается обеспечение в линии передачи режима, близкого к режиму бегущей волны в заданной полосе частот. Когда эта полоса незначительна (практически не более 5% от центральной частоты), согласование считается «узкополосным», а при существенных требованиях на полосу — «широкополосным».

2.2.1. Методы узкополосного согласования

2.2.1.1. Метод компенсации реактивности сопротивления нагрузки

Так как короткозамкнутый отрезок линии имеет реактивное входное сопротивление, которое может быть любой величины и любого знака, то скомпенсировать произвольную реактивность нагрузки несложно. Однако для согласования этого недостаточно, так как полученное чисто активное сопротивление не обязательно будет равно волновому. Выход состоит в использовании трансформирующих свойств линии передачи: компенсирующий отрезок подключается в определенное сечение.

Эту идею реализует шунт Татаринова (рис. 2.2), который состоит из короткозамкнутого отрезка линии длиной $l_{\text{ш}}$ — собственно шунта с волновым сопротивлением $\rho_{\text{ш}}$, подключенного параллельно к основной линии на расстоянии l' от нагрузки. При согласовании суммарная входная проводимость $Y_{aa'}$ в сечении $a-a'$ равна величине, обратной волновому сопротивлению

$$Y_{aa'} = Y_{\text{ш}}(l_{\text{ш}}) + Y(l') = \rho^{-1}, \quad (2.17)$$

где $Y(l')$ — проводимость линии передачи, нагруженной на сопротивление $Z_{\text{н}}$, определяемая на расстоянии l' от точки подключения нагрузки;

$$Y_{\text{ш}}(l_{\text{ш}}) = jB_{\text{ш}}(l_{\text{ш}});$$

$B_{\text{ш}}(l_{\text{ш}})$ — реактивная составляющая входной проводимости короткозамкнутого отрезка линии передачи длиной $l_{\text{ш}}$.

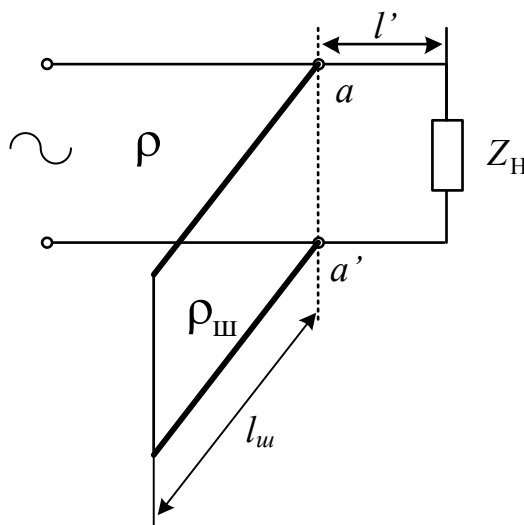


Рис. 2.2 — Схема согласования линии передачи с нагрузкой с помощью шунта Татаринова

Из (2.17) получаются два уравнения — для действительной и мнимых частей проводимостей:

$$\operatorname{Re} Y(l') = \rho^{-1}; \operatorname{Im} Y(l') = -B_{\text{ш}}(l_{\text{ш}}). \quad (2.18)$$

Проводимость линии передачи, нагруженной на сопротивление Z_{H} , определяется с учетом (2.16) на расстоянии l' от точки подключения нагрузки по формуле

$$Y(l') = \frac{1}{Z(l')} = \frac{1}{\rho} \frac{\rho + j Z_{\text{H}} \operatorname{tg} kl'}{Z_{\text{H}} + j \rho \operatorname{tg} kl'}. \quad (2.19)$$

Реактивная составляющая входная проводимость отрезка линии передачи длиной $l_{\text{ш}}$ при $Z_{\text{H}} = 0$ с учетом (2.19) определяется по формуле

$$B_{\text{ш}}(l_{\text{ш}}) = -\frac{1}{\rho} \operatorname{ctg}(kl_{\text{ш}}). \quad (2.20)$$

После выделения в (2.19) действительной и мнимой частей $Y(l')$, с учетом (2.20) и (2.18) получим расчетные формулы:

$$\operatorname{tg}(kl') = \frac{X_{\text{H}}}{R_{\text{H}} - \rho} \pm \sqrt{\frac{X_{\text{H}}^2}{(R_{\text{H}} - \rho)^2} + \frac{R_{\text{H}}^2 + X_{\text{H}}^2 - R_{\text{H}}\rho}{\rho(R_{\text{H}} - \rho)}}; \quad (2.21)$$

$$\operatorname{ctg}(kl_{\text{ш}}) = \pm \frac{\rho_{\text{ш}}}{\rho} \sqrt{\frac{X_{\text{H}}^2}{(R_{\text{H}} - \rho)^2} + \frac{R_{\text{H}}^2 + X_{\text{H}}^2 + \rho^2 - 2 \cdot R_{\text{H}} \cdot \rho}{R_{\text{H}}\rho}}. \quad (2.22)$$

Чередование знаков в (2.21) и (2.22) определяет две возможные точки подключения шунта с различной реактивностью. Следует выбирать точку, ближайшую к нагрузке.

Для определения $\rho_{\text{ш}}$ уравнения (2.17) недостаточно. Обычно $\rho_{\text{ш}} = \rho$ задается из соображений электрической прочности, удобства реализации и т.д.

2.2.1.2. Метод трансформации сопротивления нагрузки

Данный метод реализуется при включении нагрузки Z_{H} в линию передачи через трансформатор, роль которого играет отрезок линии иного волнового сопротивления ρ_t (рис. 2.3).

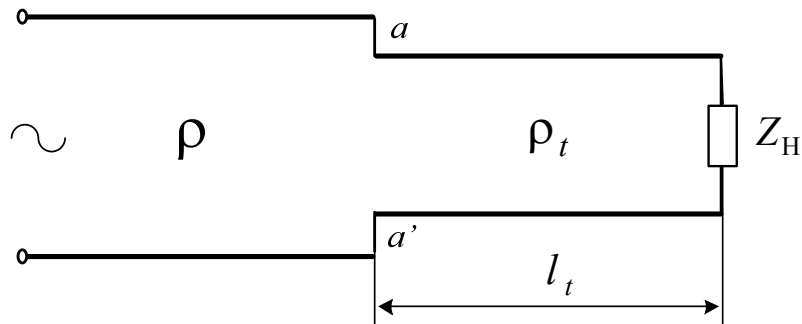


Рис 2.3 — Вариант схемы согласования линии передачи с нагрузкой с помощью четвертьволнового трансформатора

При согласовании входное сопротивление трансформатора $Z_{\text{BX}}(l_t)$ должно быть равно ρ , поэтому для его действительной и мнимой частей должно выполняться:

$$\operatorname{Re} Z_{\text{BX}}(l_t) = \rho \quad (2.23)$$

$$\operatorname{Im} Z_{\text{BX}}(l_t) = 0. \quad (2.24)$$

Используя общую формулу (2.16) можно получить общее решение системы уравнений (2.23) и (2.24) в виде:

$$\operatorname{tg}(kl_t) = \sqrt{\frac{\rho(\rho - R_{\text{H}}) \cdot (R_{\text{H}}\rho - R_{\text{H}}^2 - X_{\text{H}}^2)}{X_{\text{H}}\rho}}; \quad (2.25)$$

$$\rho_t = \sqrt{\frac{\rho(R_{\text{H}}\rho - R_{\text{H}}^2 - X_{\text{H}}^2)}{\rho - R_{\text{H}}}}. \quad (2.26)$$

В случае чисто активной нагрузки $Z_{\text{H}} = R_{\text{HT}}$ на основании (2.25) и (2.26) получим:

$$\rho_t = \sqrt{\rho R_{\text{HT}}}; \quad (2.27)$$

$$\operatorname{tg}(kl_t) \rightarrow \infty;$$

$$l_t = \lambda/4 + (\lambda/2)n, \quad (2.28)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Обычно выбирается минимальная длина $\lambda/4$. Такой трансформатор называется «четвертьволновым».

При комплексном значении Z_{H} величина R_{HT} определяется на основании (2.16) в ближайшей от нагрузки точке минимума $R_{\text{HT}} = R_{\text{min}}$ или максимума $R_{\text{HT}} = R_{\text{max}}$ активной составляющей $Z(x)$. В этих точках реактивная составляющая $Z(x)$ равна нулю. Таким образом, трансформатор подключается вблизи нагрузки в сечении линии передачи, в котором $Z(x)$ равно выбранному по (2.16) чисто активному значению R_{HT} .

2.2.2. Частотная характеристика четвертьволнового трансформатора

В соответствии с (2.27) и (2.28) рассмотрим формулы

$$\rho_t = \sqrt{\rho \cdot R_{\text{HT}}};$$

$$l_t = \lambda_0/4,$$

где λ_0 — средняя длина волны, соответствующая центральной частоте $\omega_0 = 2\pi f_0$;

R_{HT} — чисто активная нагрузка трансформатора.

Предположим, что в полосе частот $\omega_0 \pm \Delta\omega$ ($2\Delta\omega = 4\pi\Delta f$ — заданная полоса частот) нагрузка трансформатора не меняется.

Ведем обозначение δ , как относительную частотную расстройку, которая определяется по формуле

$$\delta = \frac{\pi \Delta\omega}{2 \omega_0}.$$

Для «четвертьволнового» трансформатора с активной нагрузкой R_{HT} из основной формулы (2.16), считая, что $\delta \ll 1$, для входного сопротивления четвертьволнового трансформатора можно получить:

$$Z_{BX}^T(l_t, \omega + \Delta\omega) = \rho - j \sqrt{\frac{\rho}{R_{HT}}} (\rho - R_{HT}) \operatorname{tg} \delta. \quad (2.29)$$

или, введя в рассмотрение коэффициент трансформации $N = \sqrt{R_{HT}/\rho}$, на основании (2.29) получим формулу

$$Z_{BX}^T(l_t, \omega + \Delta\omega) = \rho \left[1 + j \left(N - \frac{1}{N} \right) \operatorname{tg} \delta \right]. \quad (2.30)$$

Для коэффициента стоячей волны из (2.30) получается приближенное соотношение:

$$K_{CB} = \frac{1}{1 - \left| N - \frac{1}{N} \right| \cdot |\operatorname{tg} \delta|}. \quad (2.31)$$

На границе заданной полосы частот значение K_{CB} становится равным допустимому значению $K_{CB}^{\text{доп}}$. Выразив из (2.31) заданную относительную полосу

$$\xi = \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} 100\%$$

через $K_{CB}^{\text{доп}}$, получим:

$$\xi = \frac{K_{CB}^{\text{доп}} - 1}{K_{CB}^{\text{доп}} \frac{\pi}{4} \left| N - \frac{1}{N} \right|} 100\%. \quad (2.32)$$

Из (2.32) следует, что с увеличением отличия N от единицы полоса согласования сужается. Для расширения полосы применим четвертьволновые (для центральной частоты) замкнутые или разомкнутые на конце шлейфы (компенсаторы) с волновым сопротивлением ρ_k . Тип и место подключения шлейфа зависят от величины коэффициента трансформации N .

2.2.3. Методы широкополосного согласования

Общий принцип расширения полосы согласования линии передачи с нагрузкой состоит в том, что используются дополнительные элементы согласующего устройства для согласования на частотах, отличных от центральной. Число и параметры дополнительных элементов зависят от вида требуемой частотной характеристики (максимально плоской или «Чебышевской»), полосы частот и величины активного сопротивления нагрузки.

Рассмотрим методы компенсации реактивной составляющей входного сопротивления четвертьволнового трансформатора.

2.2.3.1. Повышающий четвертьволновый трансформатор

При $\Delta\omega > 0$ реактивная составляющая входного сопротивления трансформатора (2.29) отрицательная, поэтому последовательно со входом трансформатора (на высокоомной стороне) необходимо включить элемент с положительной реактивностью — разомкнутый шлейф (рис. 2.4).

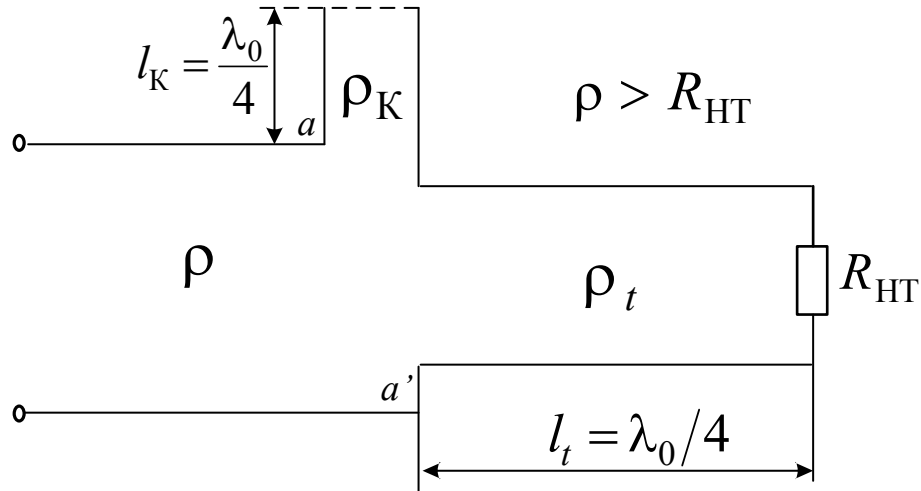


Рис 2.4 — Схемы согласования линии передачи с нагрузкой с помощью повышающего четвертьволнового трансформатора с компенсатором

Волновое сопротивление компенсатора определяется на основании анализа (2.29) по формуле

$$\rho_K = \sqrt{\frac{\rho}{R_{HT}}} (\rho - R_{HT}) = \rho \frac{1 - N^2}{N}. \quad (2.33)$$

Полосу согласования теперь ограничивают реактивности второго порядка малости, не учтенные при выводе формулы (2.29). Если их ввести в рассмотрение, то для полосы согласования ξ получим формулу:

$$\xi = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{K_{CB}^{доп} - 1}{\frac{K_{CB}^{доп}}{N} \left| N - \frac{1}{N} \right| \sqrt{2}}} 100\%. \quad (2.34)$$

2.2.3.2. Понижающий четвертьволновый трансформатор

Для компенсации реактивности входного сопротивления трансформатора применяется короткозамкнутый отрезок линии передачи (шунт), который подключается к четвертьволновому трансформатору параллельно, на его низкоомной стороне (рис. 2.5). При этом, с учетом анализа (2.29) волновое сопротивление шунта ρ_K определяется по формуле:

$$\rho_K = \frac{\rho}{R_{HT} - \rho} \sqrt{\rho R_{HT}} = \rho \frac{N}{N^2 - 1} \quad (2.35)$$

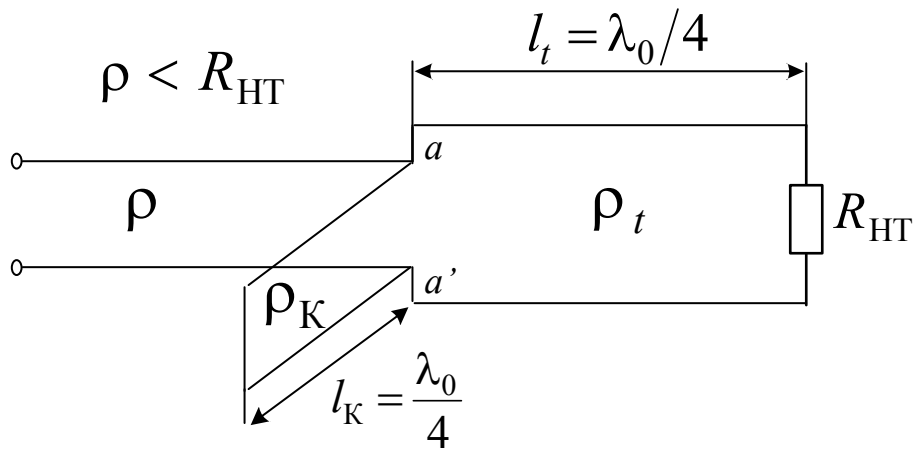


Рис 2.5 — Схемы согласования линии передачи с нагрузкой с помощью понижающего четвертьволнового трансформатора с компенсатором

Оценку полосы согласования ξ можно проводить по следующей формуле

$$\xi = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{K_{\text{СВ}}^{\text{доп}} - 1}{K_{\text{СВ}}^{\text{доп}} N \left| N - \frac{1}{N} \right| \sqrt{2}}} 100\% . \quad (2.36)$$

2.2.3.3. Двухступенчатый трансформатор

При невозможности обеспечить заданную полосу с помощью одного компенсирующего элемента можно применять двухступенчатый трансформатор.

Использование двухступенчатого трансформатора (рис. 2.6) основано на взаимной компенсации реактивностей отдельных ступеней. В качестве второго условия для определения волновых сопротивлений ρ_{t1} и ρ_{t2} берется условие согласования на центральной частоте.

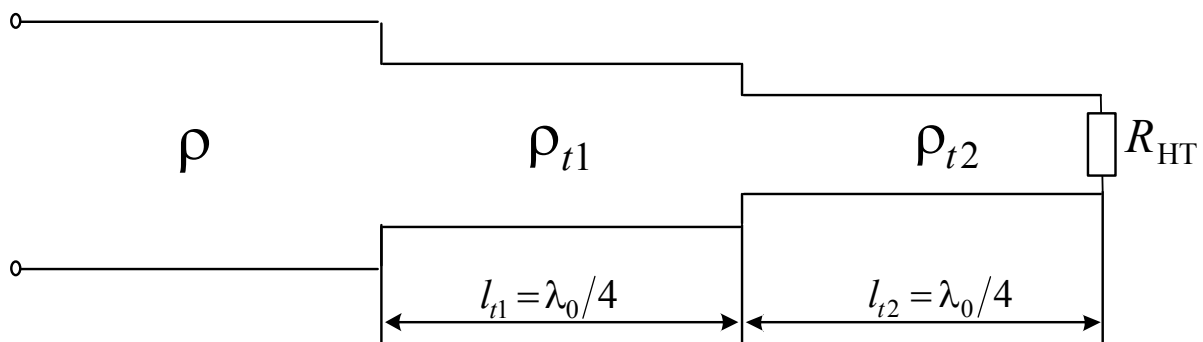


Рис 2.6 — Схемы согласования линии передачи с нагрузкой с помощью двухступенчатого четвертьволнового трансформатора

Для определения ρ_{t1} и ρ_{t2} с учетом (2.27) можно получить формулы:

$$\rho_{t1} = \sqrt{\rho \sqrt{\rho R_{\text{НТ}}}} , \quad (2.37)$$

$$\rho_{t2} = \sqrt{R_{\text{НТ}} \sqrt{\rho R_{\text{НТ}}}} \quad (2.38)$$

Полоса согласования ξ двухступенчатого трансформатора определяется по формуле:

$$\xi = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{K_{CB}^{доп} - 1}{K_{CB}^{доп} \left| N - \frac{1}{N} \right|}} 100\%. \quad (2.39)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройства СВЧ и антенны/ Под ред. Д.И. Воскресенского — М.: Радиотехника, 2006. — 376 с.
2. Хмель В.Ф. Антенны и устройства СВЧ/ В.Ф. Хмель// Сб. задач. — Киев: Вища школа, 1990. — 232с
3. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства/ Г.Н. Кочержевский. — М.: Радио и связь, 1989. — 352с.
4. Лобкова Л.М. Проектирование антенн и устройств СВЧ/ Л.М. Лобкова //Учеб. пособие для вузов. — Севастополь: Изд. СевНТУ, 2002. — 178 с.
5. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование фазированных антенных решеток) / Под ред. Д.И. Воскресенского — М.: Радио и связь, 1981. — 432 с.
6. Методические указания по оформлению текстовых работ для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — «Радиотехника» / В.Г. Слезкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 20 с.

Приложение А**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ № 1**

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет

Факультет радиоэлектроники
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1
по дисциплине «Устройства СВЧ и антенны»

Выполнил студент _____
_____ фамилия и инициалы

Группа _____
РГЗ №1 защищено с оценкой _____
Преподаватель _____

Севастополь
20__ г.

Заказ № 193 от 03.07.2012 г. Тираж 25 экз.
Изд-во СевНТУ.