

Кафедра радиосвязи и вещания

Лекция **ФИДЕРНЫЕ ТРАКТЫ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ**

Учебные вопросы:

- 1. Назначение и основные характеристики фидерных трактов.**
- 2. Согласующие и симметрирующие устройства.**

1. Назначение и основные характеристики фидерных трактов

Антенна соединяется с радиотехнической аппаратурой посредством линии, которая называется фидером (от англ. Feeder).

Под этим термином принято понимать линию передачи (ЛП), по которой осуществляется направленное распространение (канализация) ЭМ волн от источника (передатчика или антенны) к потребителю.

Основная задача фидера состоит в передаче радиосигнала.

Требования к фидерам

Фидер должен обеспечивать передачу радиочастотного сигнала с допустимой степенью искажений и минимальными потерями в проводниках, изоляторах и окружающих предметах.

Для этого в **фидерах** применяют проводники с высокой проводимостью, используют меры против их окисления, а также изоляторы с малыми диэлектрическими потерями.

В качестве **фидера** может быть практически любая **линия передачи**.

1. Фидерные тракты с поперечными волнами или **ТЕМ - волнами**, или просто **Т - волнами** (от англ. Transvers, что означает поперечный).

2. Фидерные тракты с электрическими волнами или **Е - волнами**, у которых только вектор **Е** имеет как поперечные, так и продольную составляющую.

3. Фидерные тракты с магнитными волнами или **Н - волнами**, у которых только вектор **Н** имеет как поперечные, так и продольную составляющую.

4. Фидерные тракты с гибридными или смешанными волнами, у которых оба вектора \vec{E} и \vec{H} имеют продольные составляющие.

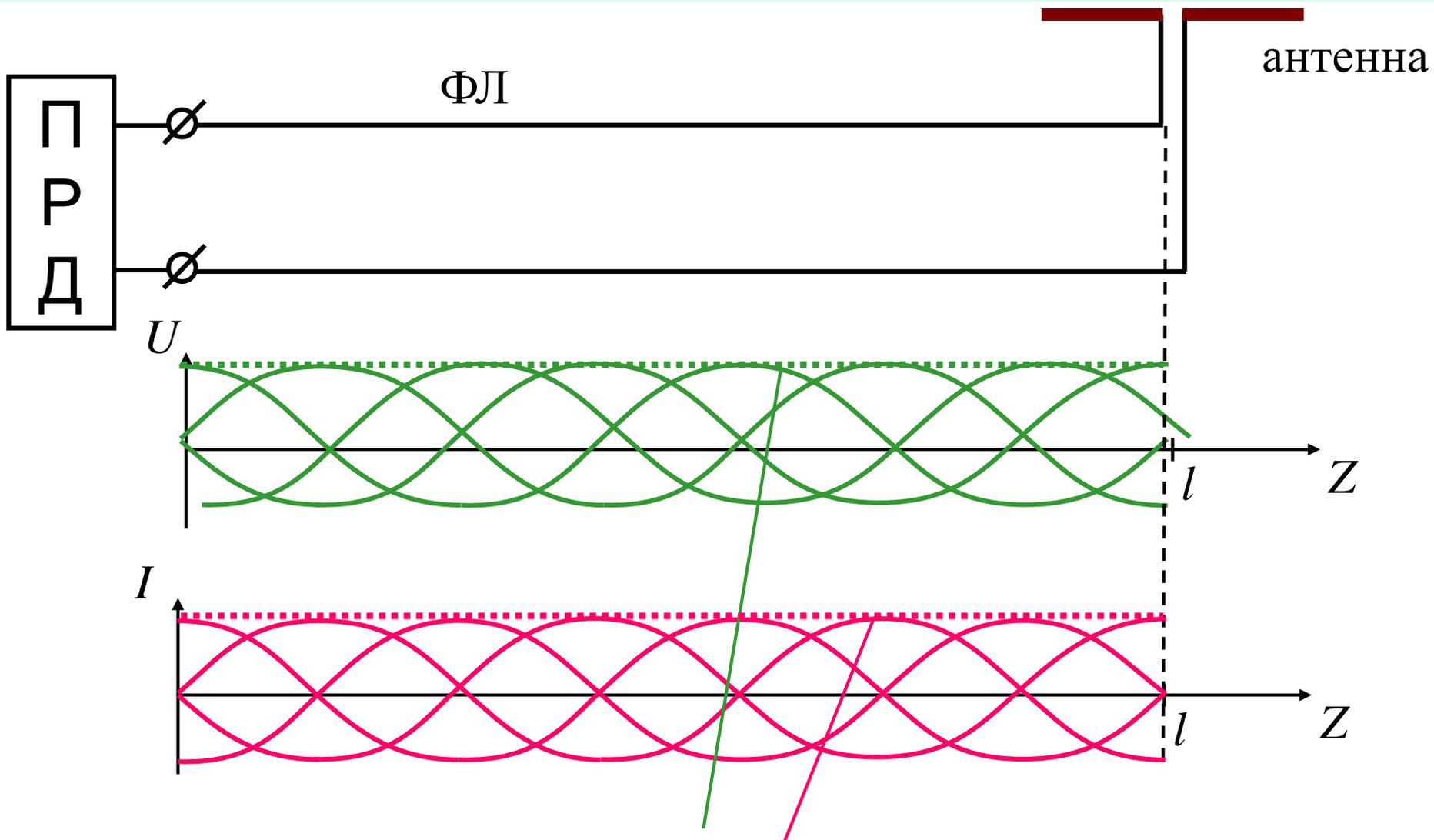
Фидерные тракты являются линиями конечной длины, поэтому существует прямая и отраженная волны.

1. ТЕМ-волны (волны типа Т, поперечные волны) у которых оба вектора E и H перпендикулярны оси Oz и не имеют продольных составляющих: $E_z = 0$, $H_z = 0$. Аббревиатура ТЕМ происходит от английского **Transverse Electromagnetic**. Примером ТЕМ-волны является плоская электромагнитная волна в неограниченном пространстве. С помощью ТЕМ-волн переносится энергия в двухпроводных (энергоснабжающих, телефонных), коаксиальных и полосковых линиях передачи.

2. ТЕ-волны (Transverse Electric), или магнитные волны, или волны типа Н, имеющие продольную составляющую магнитного вектора H_z при $E_z = 0$.

3. ТМ-волны (Transverse Magnetic), или электрические волны, или волны типа Е, у которых $E_z = 0$ при $H_z = 0$. Можно показать, что собственные волны полых металлических волноводов могут быть только волнами типа Е или Н.

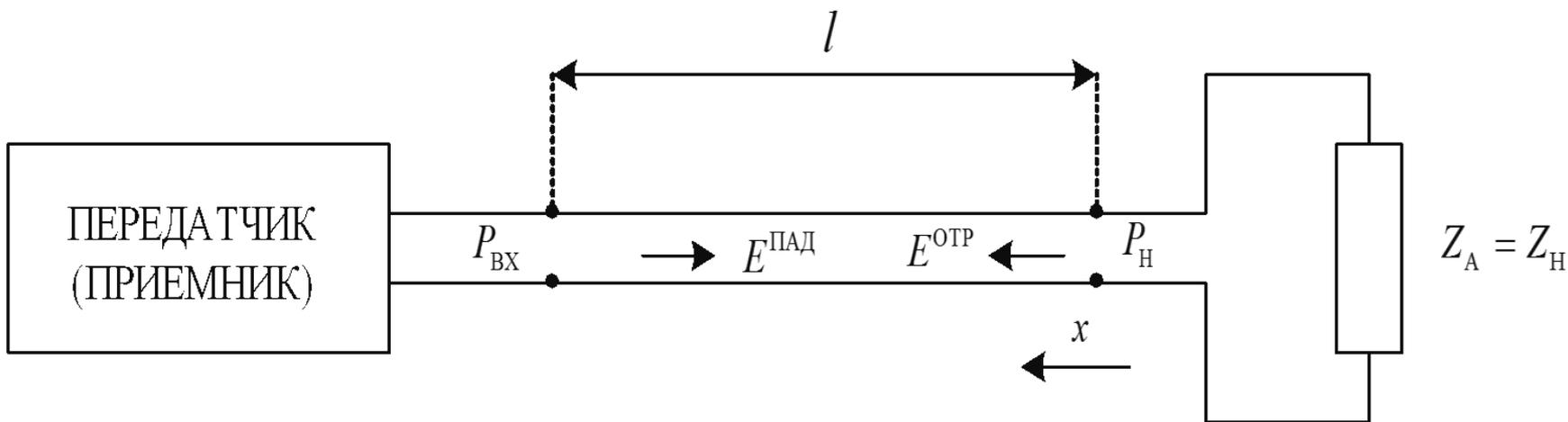
Фидерные тракты с поперечными волнами или ТЕМ



Распределение амплитуд U и I по длине ФЛ

Электрические характеристики линий питания антенн

Электромагнитные процессы в эквивалентной двухпроводной линии представляют в виде суммы падающей и отраженной волн.



$$E(x) = E_m^{ПАД} e^{\gamma x} + E_m^{ОТР} e^{-\gamma x}.$$

$$\gamma = \alpha + i\beta = ik, \quad \beta = \frac{2\pi}{\Lambda} = \xi k, \quad \xi = \frac{c}{v_{\phi}} = \frac{\lambda}{\Lambda}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Входное сопротивление, коэффициент отражения и КБВ фидера

$$Z_{\text{вх}}(x) = \frac{U(x)}{I(x)} = \rho_{\phi} \frac{1 + p(x)}{1 - p(x)},$$

$$\rho_{\phi} = \frac{U^{\text{пад}}(x)}{I^{\text{пад}}(x)},$$

$$p(x) = \frac{E_{(x)}^{\text{отр}}}{E_{(x)}^{\text{пад}}} = p_{\text{н}} e^{-2\gamma x}, \quad p_{\text{н}} = \frac{Z_{\text{А}} - \rho_{\phi}}{Z_{\text{А}} + \rho_{\phi}}. \quad |p_{\text{н}}| = \sqrt{\frac{(R_{\text{А}} - \rho_{\phi})^2 + X_{\text{А}}^2}{(R_{\text{А}} + \rho_{\phi})^2 + X_{\text{А}}^2}}.$$

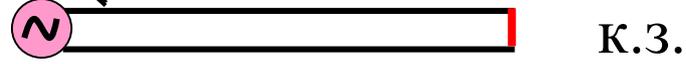
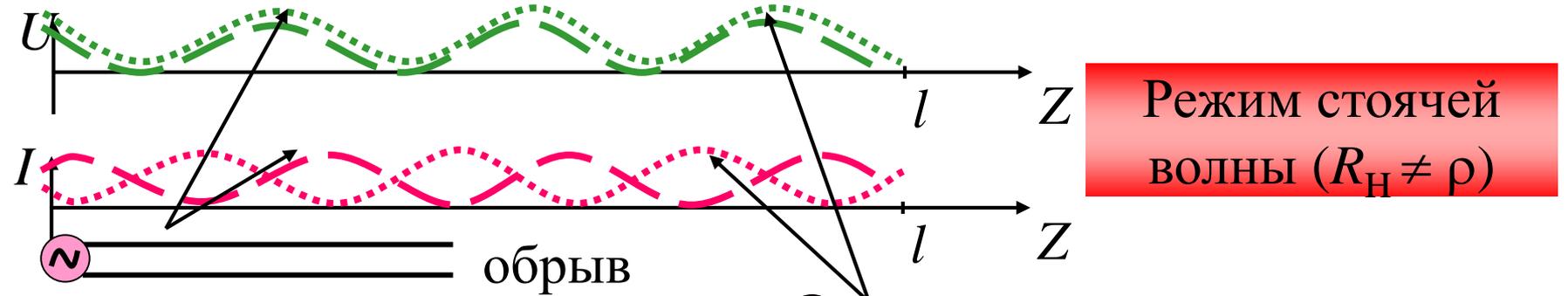
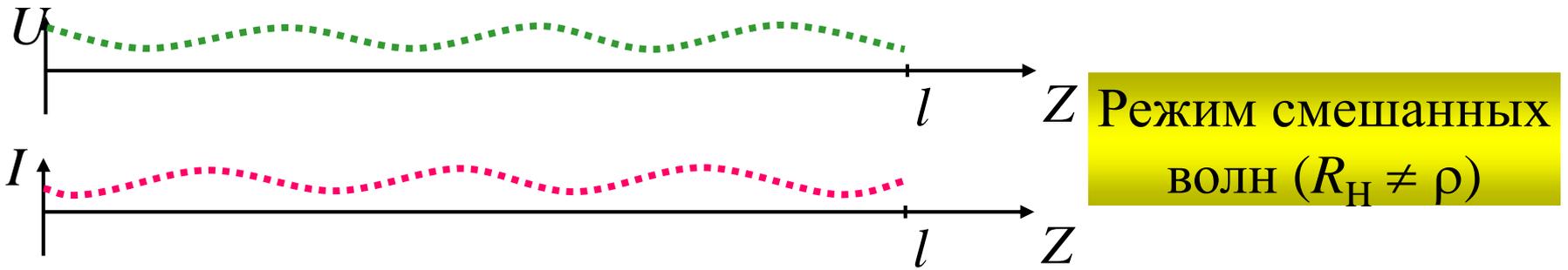
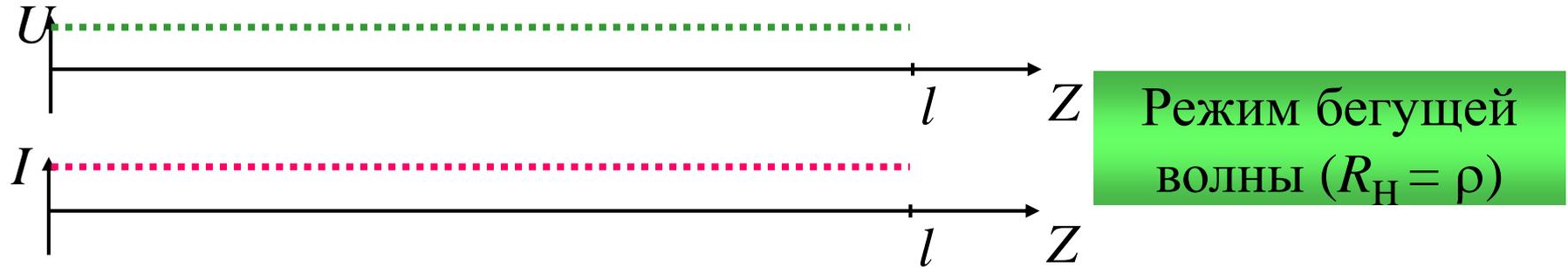
$$\text{КБВ} = \frac{|U(x)|_{\text{min}}}{|U(x)|_{\text{max}}} = \frac{|E(x)|_{\text{min}}}{|E(x)|_{\text{max}}} = \frac{1 - p_{\text{н}}}{1 + p_{\text{н}}},$$

н — у нагрузки.

$$p_{\text{н}} = \frac{1 - \text{КБВ}_{\text{н}}}{1 + \text{КБВ}_{\text{н}}},$$

$$p(x) = p_{\text{н}} e^{-2\alpha x} e^{-i2\beta x}.$$

Режимы работы ФЛ с волной TEM

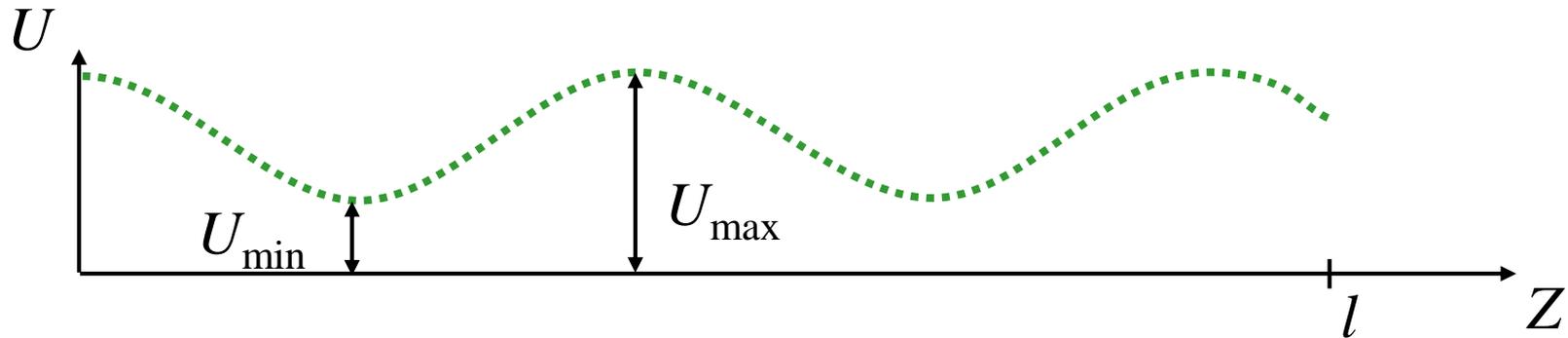


$$\phi_U - \phi_I < 0$$

$$\phi_U - \phi_I > 0$$

К.З.

КБВ ФЛ с волной TEM



Для ФЛ коэффициент бегущей волны:

$$\text{КБВ} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}} = \frac{1}{\text{КСВ}} = \frac{\sqrt{(R_A + \rho)^2 + X_A^2} - \sqrt{(R_A - \rho)^2 + X_A^2}}{\sqrt{(R_A + \rho)^2 + X_A^2} + \sqrt{(R_A - \rho)^2 + X_A^2}}$$

Для ФЛ с потерями КБВ вдоль фидера:

$$\text{КБВ}(l) = \frac{1 - |p(l)|}{1 + |p(l)|};$$

$$p(l) = |\dot{p}_A| e^{-2l(\alpha + i\beta)} = \rho e^{i\psi_\Phi};$$

$$\dot{p}_A = \frac{Z_A - \rho}{Z_A + \rho} = |\dot{p}_A| e^{i\psi_A}.$$

Волновое сопротивление ФЛ с волной ТЕМ

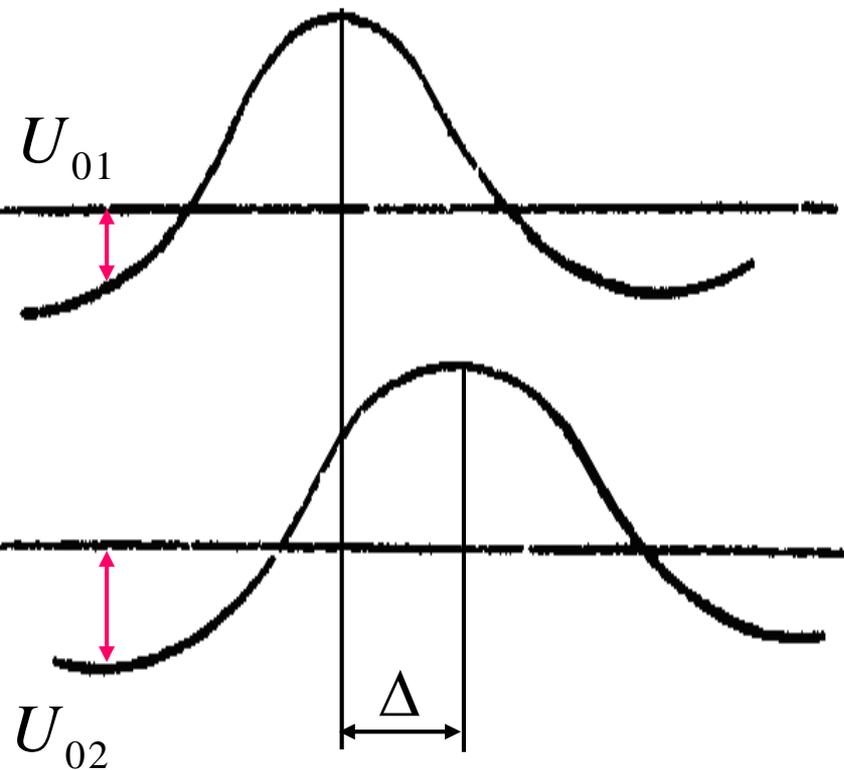
Параметр 2-х проводной линии: $\rho_{\phi} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \frac{1}{cC_1} = cL_1, \text{ Ом}$

$$\rho = \frac{60}{\sqrt{\epsilon'}} \ln \frac{D}{2a}$$

- для коаксиального кабеля

$$\rho = 120 \ln \frac{d}{a}$$

- для 2-проводной линии



$$\alpha = \left| \frac{U_{01} - U_{02}}{U_{01} + U_{02}} \right|$$

норма:

$$\alpha \leq 5\%$$

$$\beta = 360^\circ \frac{\Delta}{\lambda}$$

$$\beta \leq 3^\circ$$

Асимметрия и угол скоса

Область применения фидеров различных диапазонов волн

№10

Используемые в антенной технике линии передачи, называемые фидерами, подразделяются на два больших класса:
открытые и закрытые или экранированные.

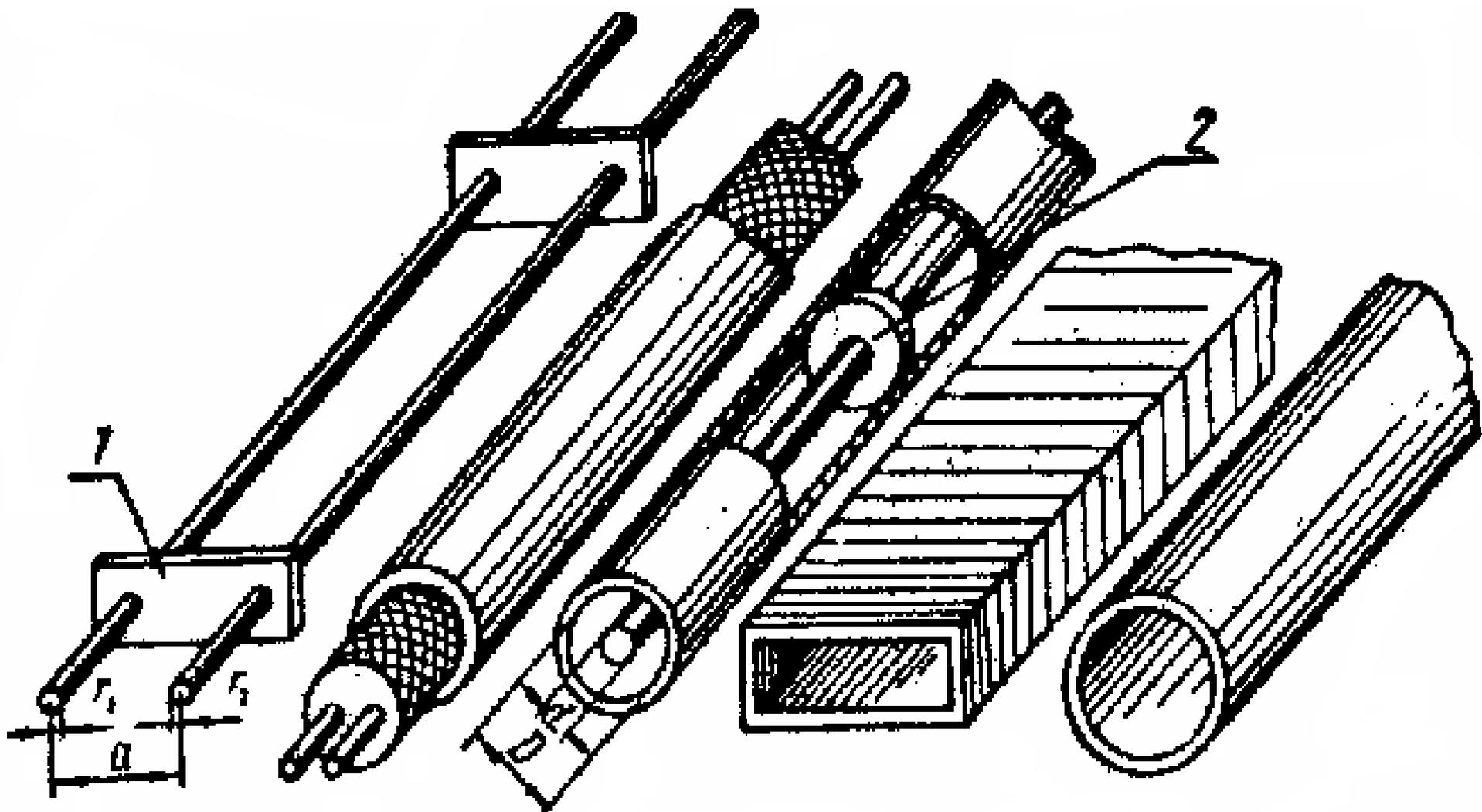
1. В фидерах закрытого типа вся передаваемая энергия сосредоточена в области, экранированной от внешней среды металлической оболочкой.

2. В фидерах открытого типа ЭМ поле распределено во всем пространстве, окружающем линию. В таких линиях стремятся, чтобы подавляющая часть передаваемой энергии была сосредоточена непосредственно вдоль линии.

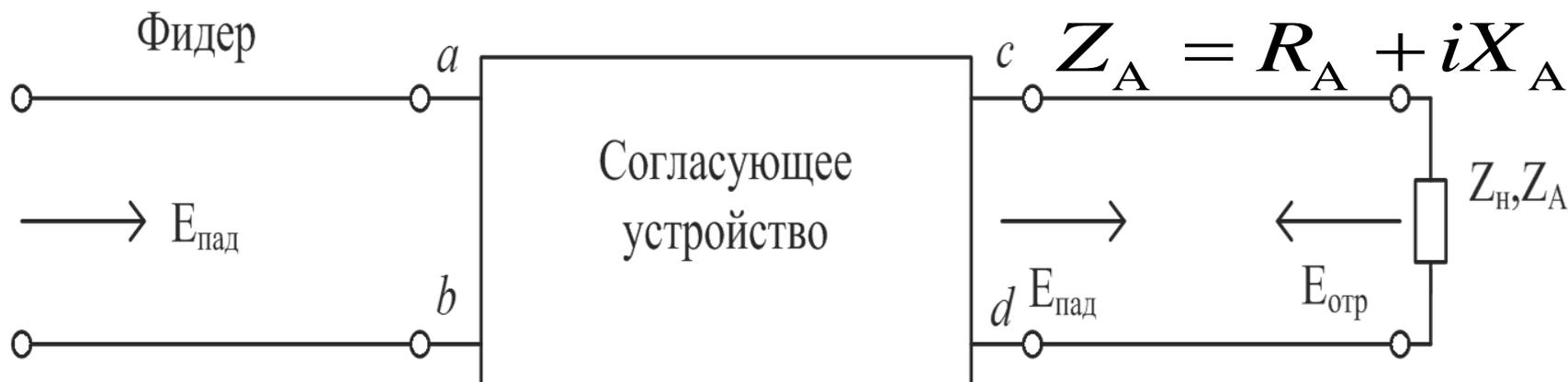
Тем не менее, **фидеры открытого типа** обладают значительным **антенным эффектом**. **Антенный эффект** – **излучение ЭМВ.**

Типы линий передачи (фидеров)

№11



2. Согласующие и симметрирующие устройства



Согласующие устройства необходимы для всех типов фидеров.

В функцию согласующих устройств входит либо поглощение, либо компенсация отраженной волны.

Для полного согласования необходимо преобразование сопротивлений в местах расположения неоднородностей с целью получения режима бегущей волны во всем фидерном тракте.

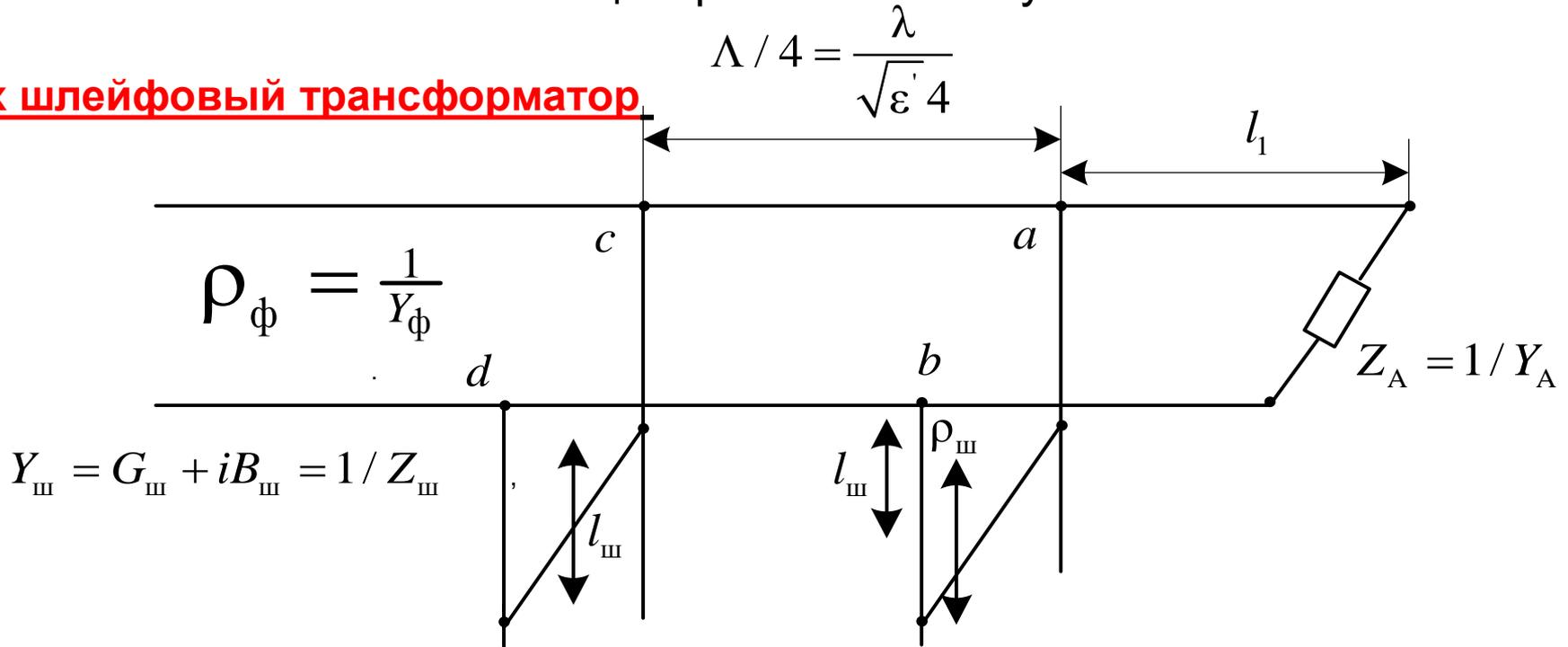
Степень согласования оценивается такими параметрами как коэффициент отражения (ρ), коэффициент бегущей (КБВ) или стоячей (КСВ) волны.

$$\text{КБВ} \geq \text{КБВ}_{\text{доп}}$$

Узкополосные согласующие устройства (Реактивный шунт)

Шлейфовый трансформатор реализует компенсацию неоднородностей с помощью реактивного шунта

2-х шлейфовый трансформатор



$$Z_{BX}^{K3} = i\rho_{III} \operatorname{tg}(kl_{III}) ; Z_{BX}^{XX} = -i\rho_{III} \operatorname{ctg}(kl_{III}).$$

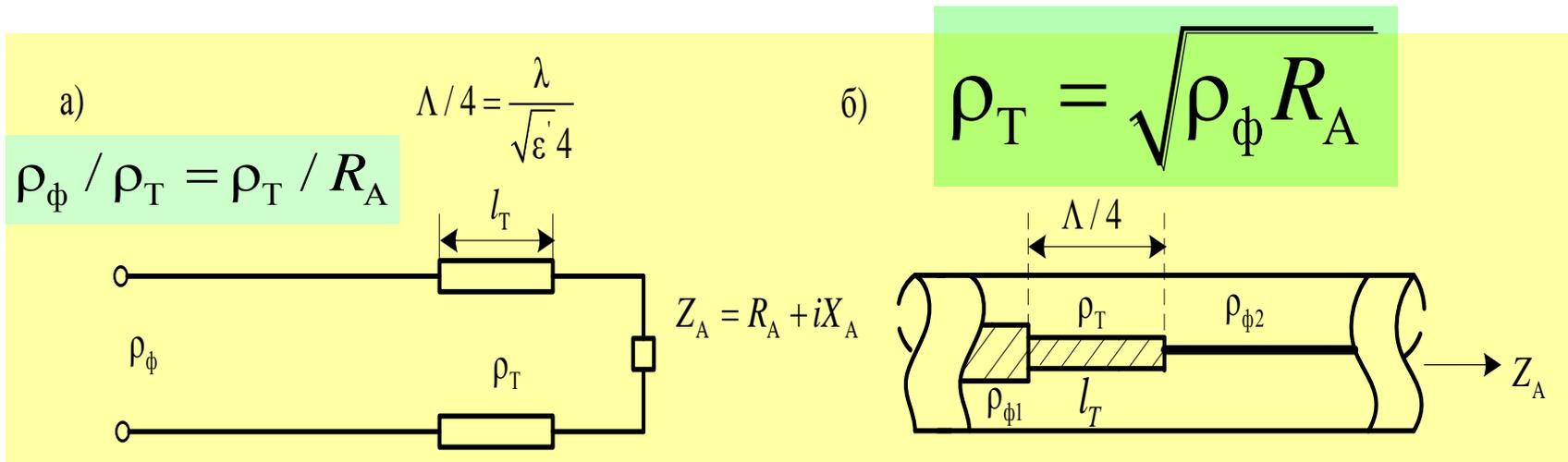
Для согласования в полосе частот используется многоступенчатая схема шлейфов.

Шунт - устройство, которое позволяет электрическому току (либо магнитному потоку) протекать в обход какого-либо участка схемы, обычно представляет собой низкоомный резистор, катушку или проводник.

Шунтирование - процесс параллельного подсоединения электрического элемента к другому элементу, обычно с целью уменьшения итогового сопротивления цепи.

Впервые предложен американским изобретателем Эдвардом Вестоном в 1893 году.

Четвертьволновые трансформаторы

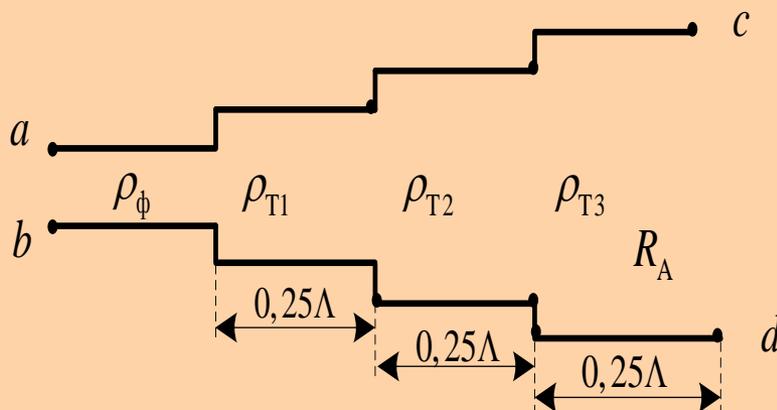


Работа трансформатора основана на том, что волны, отраженные от начала и от конца трансформатора, равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на 180 град.

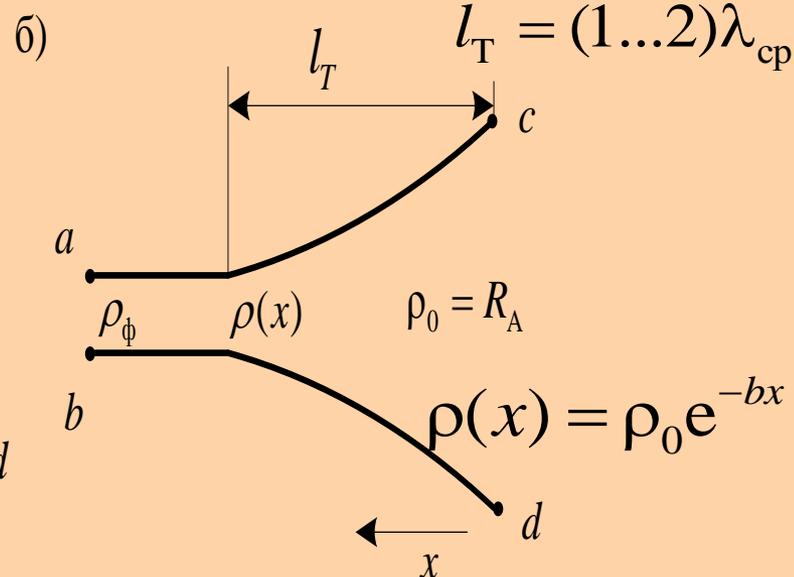
Четвертьволновый трансформатор позволяет согласовать только активное сопротивление нагрузки .

Четвертьволновые трансформаторы находят широкое применения в фидерных трактах с волной TEM, а также в металлических волноводах.

a) $\rho_\phi = 120 \ln(d/a), \text{ Ом.}$



Ступенчатые переходы



Плавные переходы

Повышающие трансформаторы

Экспоненциальные трансформаторы применяются для согласования фидеров диапазонных антенн.

Электрическая прочность **экспоненциального трансформатора** выше, чем у **ступенчатого**, поэтому в фидерах с высоким уровнем мощности предпочтительнее плавные переходы.

Степень согласования антенны, имеющей сопротивление Z_A характеризуют либо коэффициентом отражения от нагрузки p_H либо коэффициентом бегущей волны $K_{\text{БВ}}$ (КБВ):

$$p_H = \frac{Z_A - \rho_\phi}{Z_A + \rho_\phi}$$

$$K_{\text{БВ}} = \frac{1 - |p_H|}{1 + |p_H|}$$

$$p_H = \frac{1 - \text{КБВ}_H}{1 + \text{КБВ}_H}$$

$$\text{КСВ} = 1 / \text{КБВ}$$

$$p(x) = p_H e^{-i2\gamma x}$$

$$Z_{\text{ВХ}} = \rho_\phi \frac{Z_A + \rho_\phi \text{th}(\gamma l)}{\rho_\phi + Z_A \text{th}(\gamma l)}$$

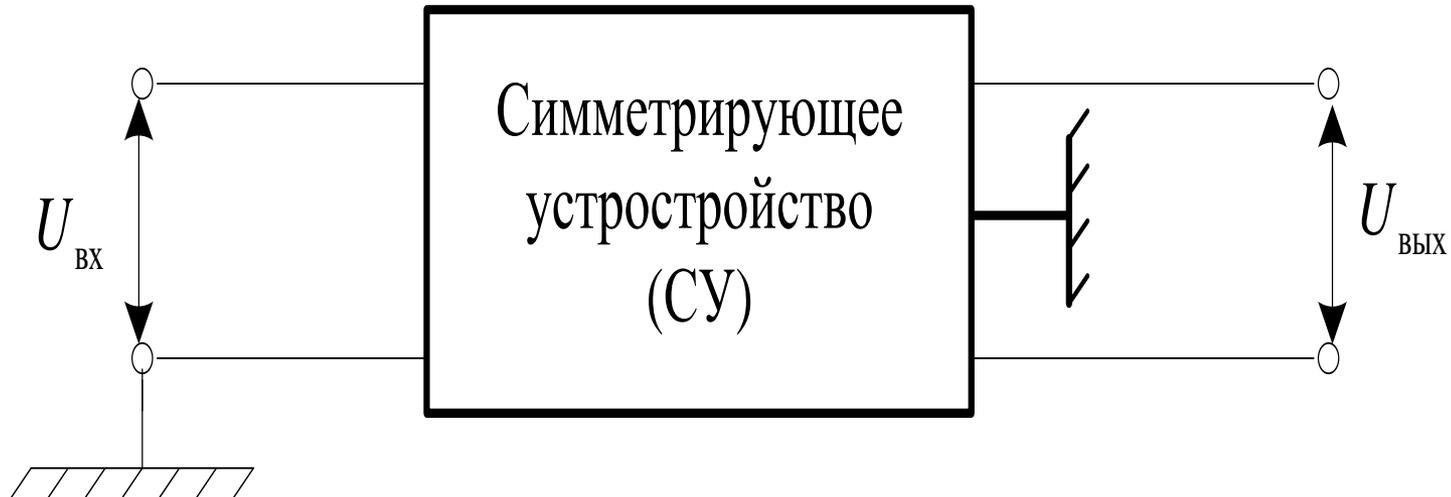
$$\eta_\phi = \eta_{\phi \text{max}} \frac{1 - |p|^2}{1 - |p|^2 e^{-4\alpha l}}$$

Симметрирующие и переходные устройства линий питания антенн

№17

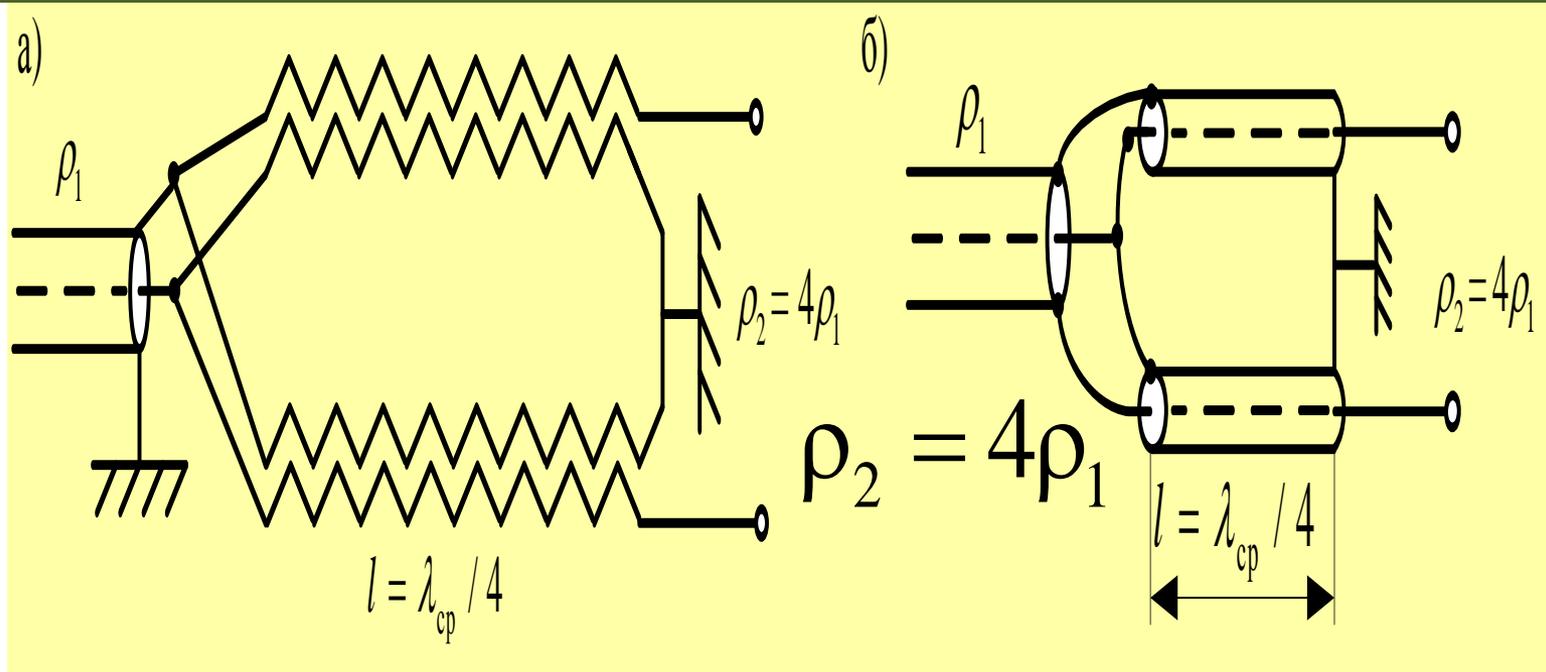
Для соединения симметричных устройств и несимметричных линий с волной **ТЕМ** (чаще применяют в коаксиальных линиях) возникает проблема симметрирования.

Симметрирующее устройство (СУ) представляет собой четырехполюсник, у которого с одной стороны несимметричный вход, а с другой стороны симметричный выход



Согласующе-симметрирующие устройства, состоящие из отрезков линий питания

№18



Диапазонные ССУ для КВ диапазона могут выполняться из свернутых в многовитковые спирали **двухпроводных** (рис. а) или **коаксиальных** (рис. б) линиях.

При таком включении линий кроме симметрирования обеспечивается трансформация сопротивлений в четыре раза .

ССУ применяется для питания **75-омным** коаксиальным кабелем симметричных **КВ антенн** с входным сопротивлением **300 Ом**.

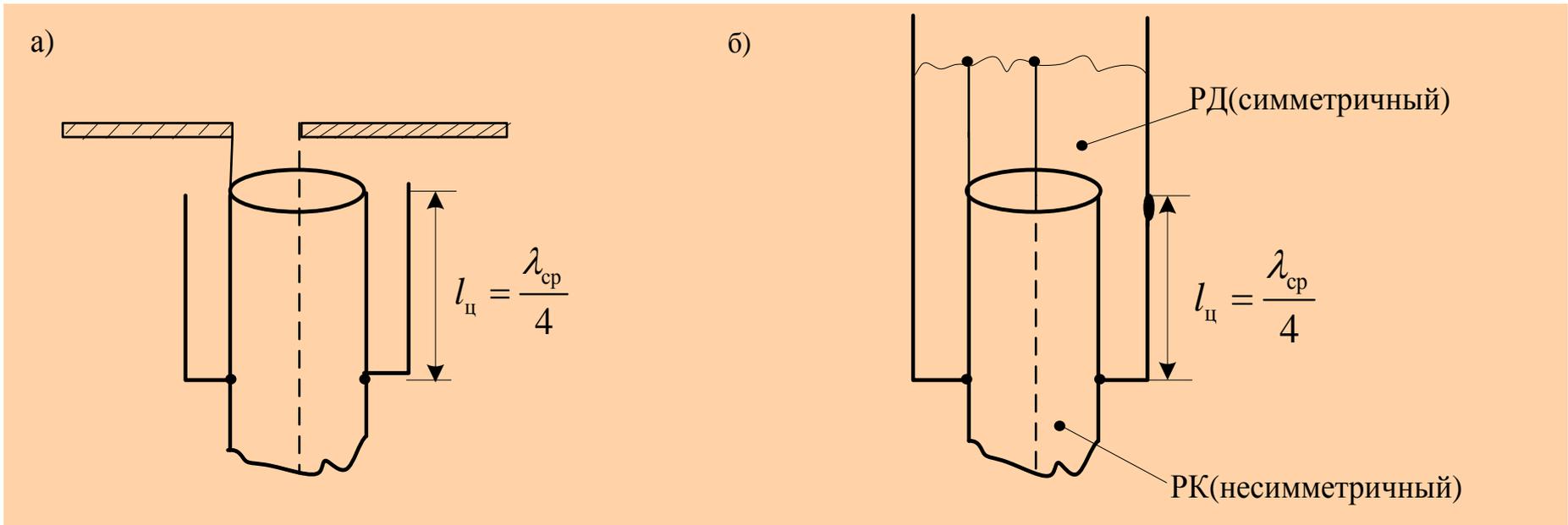
Симметрирующие устройства на отрезках линий

№19

Запирающий цилиндр

Сим. устройство представляет собой металлический цилиндр длиной в четверть волны, одетый с зазором на экран коаксиального кабеля.

Он препятствует вытеканию тока на экран кабеля.



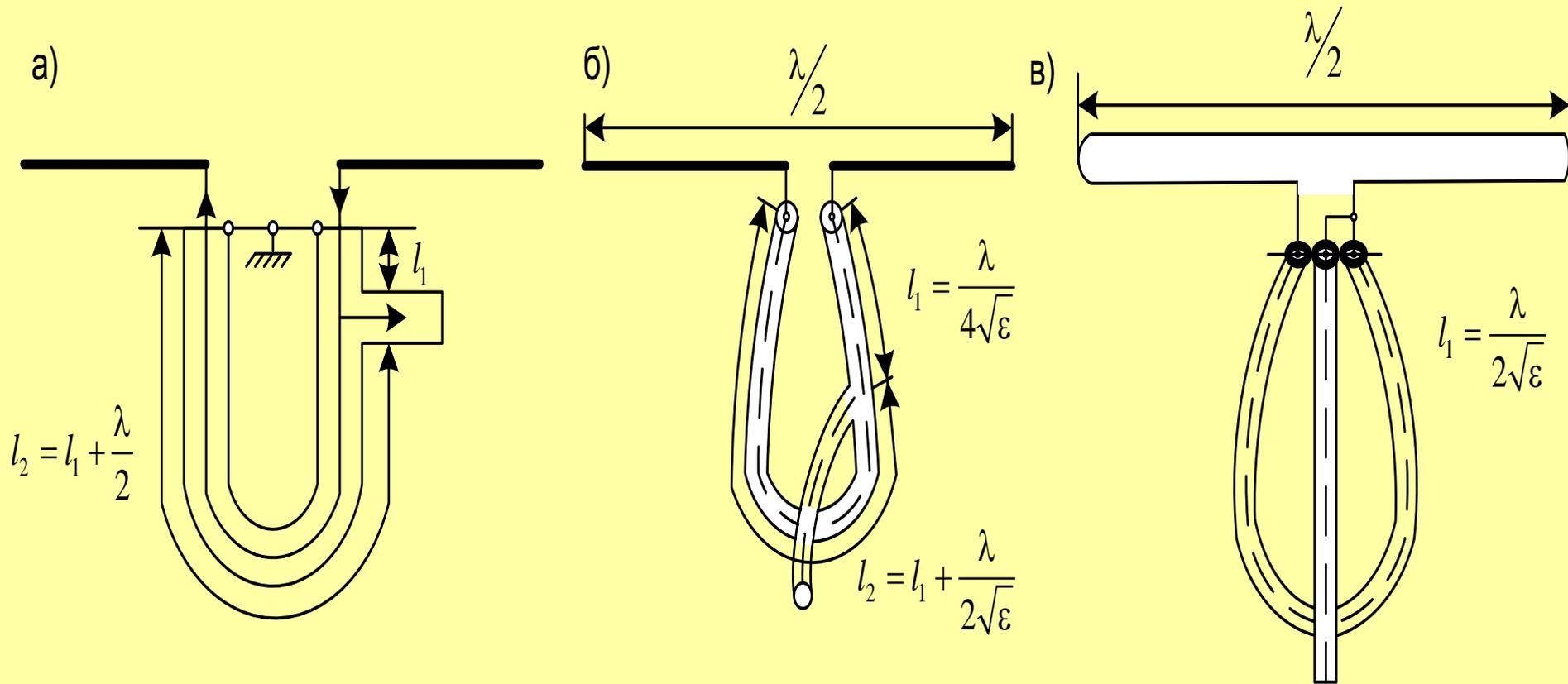
Устройство узкополосное

Четвертьволновые шлейфы

$$Z_{ц} = i\rho_{ц} \operatorname{tg}(kl_{ц}).$$

Петлевое устройство

№20

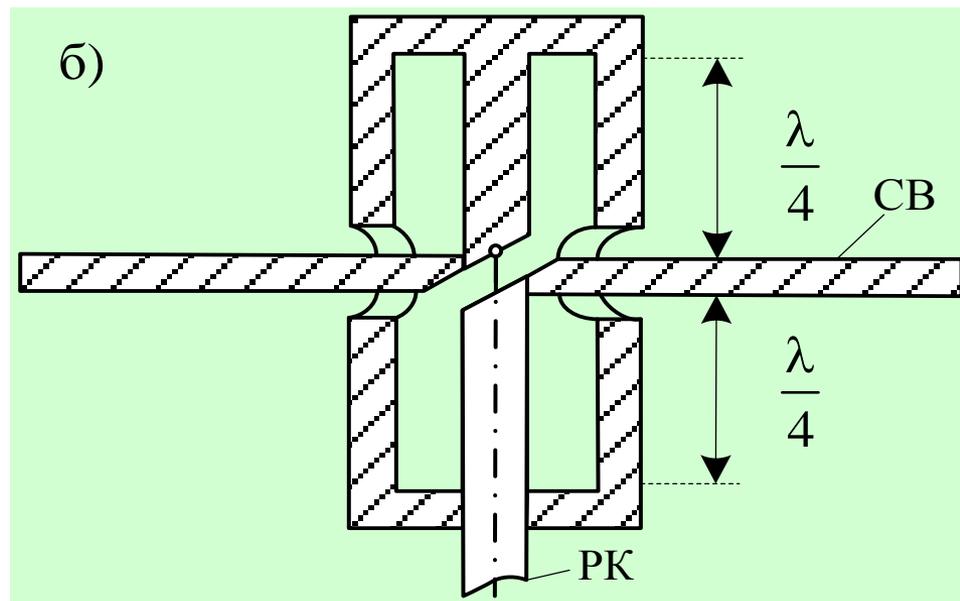
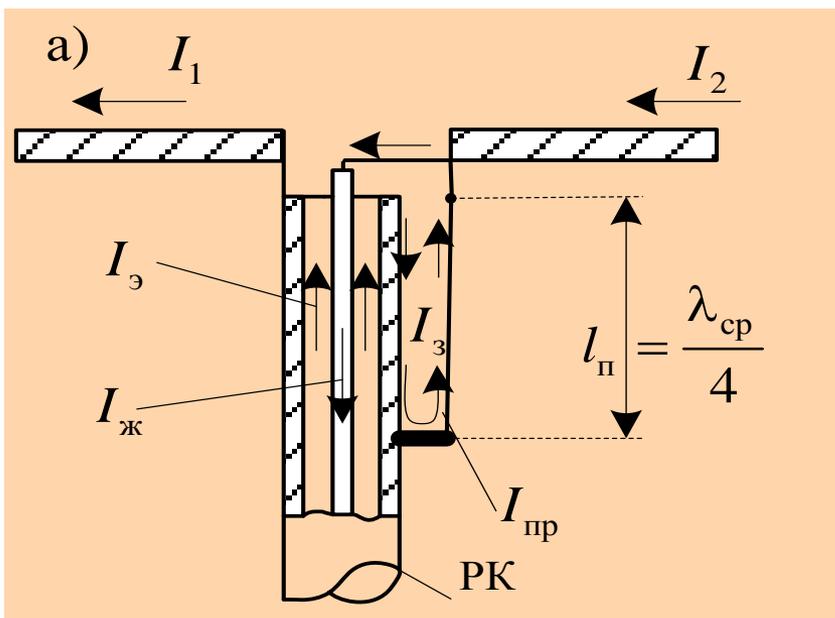


Симметрия питания плеч вибратора обеспечивается путем выбора длины петли, чтобы изменить фазу на 180 град.

Устройство узкополосное

Симметрирующая приставка

№21



Принцип работы – компенсация тока большей амплитуды.

$$I_1 = I_э - I_{пр}$$

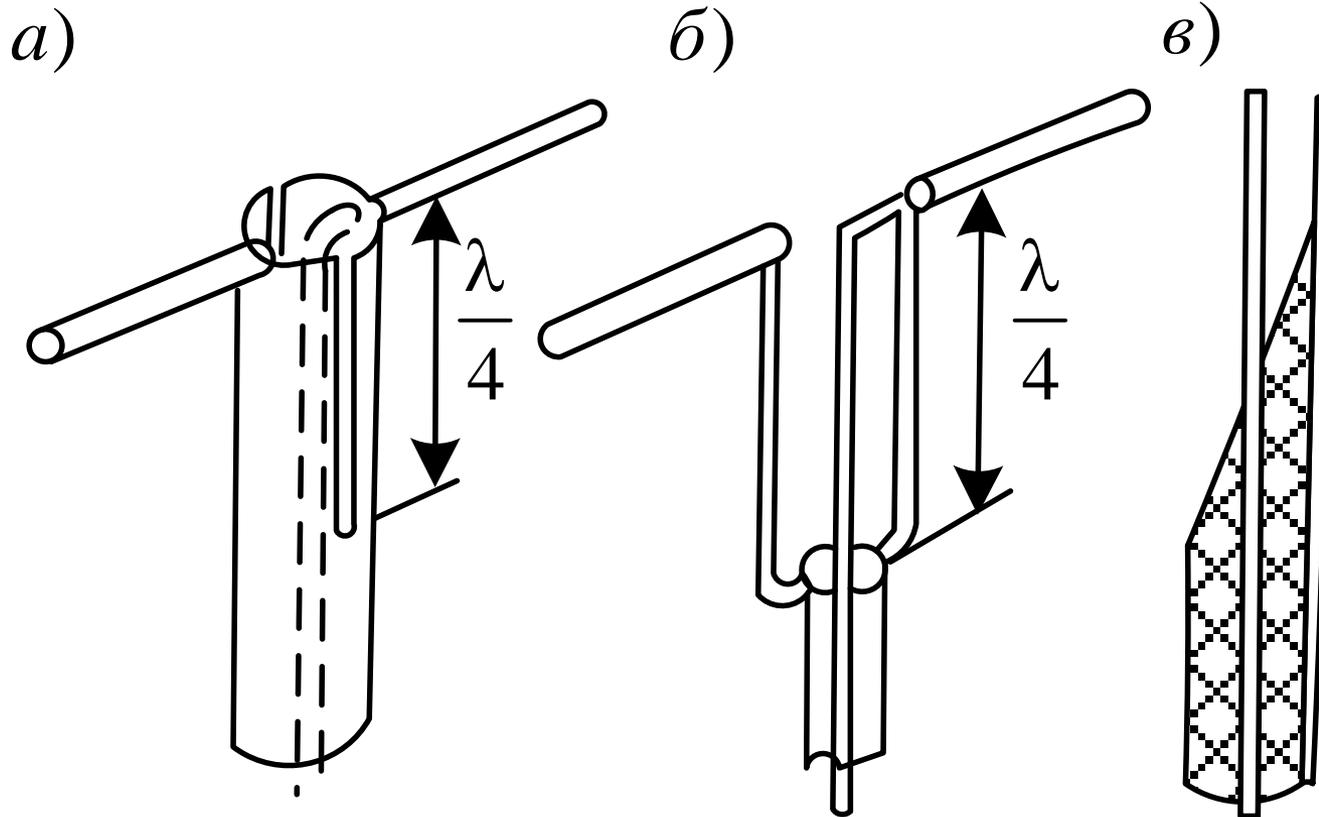
$$I_2 = I_ж - I_{пр}$$

$$I_1 = I_2 = I_э = I_ж$$

Приставка может работать в широкой полосе частот, обеспечивая равенство и противофазность питающих токов вибратора.

Конструкции симметрирующих устройств в УКВ

№22



Запирающий цилиндр, симметрирующая приставка, плавный переход.

В конкретных диапазонах волн используются различные линии питания антенн (фидеры).

На коротких и более длинных волнах применяются проволочные воздушные линии передачи.

При переходе к **метровым** и более коротким волнам применяют закрытые фидеры, чаще коаксиальные.

В диапазонах СВЧ используются волноводные, полосковые линии передачи, волоконно-оптические линии, лучевые волноводы и другие.

Для фидеров в любом диапазоне волн важным условием является согласование их с др. элементами **ВЧ тракта**. При неполном согласовании **КПД** фидера уменьшается. Резко **КПД** уменьшается, когда **КБВ** в фидере менее **0,3**. Кроме того, в несогласованном **фидере** появляется **фидерное эхо**, обусловленное наличием отраженных волн. Волна может многократно отражаться от начала и конца фидера.

Поэтому для передачи широкополосных сигналов КБВ в фидере должен быть не менее 0,9.

При использовании **фидерного тракта** в антенных устройствах часто возникает необходимость соединения участков различных фидеров между собой, осуществлений разветвлений, соединения неподвижной части с вращающейся, включения контрольных приборов и т.д.

Для выполнения этих операций применяются **специальные элементы** фидерного тракта, схемы и конструкция которых зависит от диапазона волн, в котором работает радиостанция, и от её назначения

Переходы в линиях с волной **ТЕМ** выравнивают потенциалы проводников соединяемых линией с помощью четвертьволновых шлейфов.

Разомкнутые или короткозамкнутые **шлейфы** включаются последовательно или параллельно в области перехода.

Переходы с **коаксиального кабеля на симметричную линию** выполняются путем включения **ССУ** с повышающей трансформацией сопротивления.