

Трансформация сопротивлений в линиях передачи

Отрезки линий передачи с длиной $L \leq \lambda_{\text{в}}$ широко применяются для трансформации (т. е. преобразования) величины сопротивления нагрузки $\dot{z}_{\text{н}}$ (см. рис. 1.4).

В основу положена зависимость нормированного сопротивления в произвольном сечении линии передачи от расстояния до нагрузки l . Чтобы получить эту зависимость, используем формулу (1.13), которую перепишем в виде

$$\dot{z}(l) = \frac{1 + \dot{\rho}(l)}{1 - \dot{\rho}(l)}. \quad (1.25)$$

В коротких трансформирующих отрезках обычно применяют линии передачи с малыми потерями. Это дает возможность пренебречь затуханием и использовать для коэффициента отражения идеализированную продольную зависимость:

$$\dot{\rho}(l) = \dot{\rho}(0) e^{-j2\beta l}, \quad (1.26)$$

где $\beta l = 2\pi l / \lambda_{\text{в}}$ — величина, называемая электрической длиной (координату l отсчитывают от нагрузки в сторону генератора).

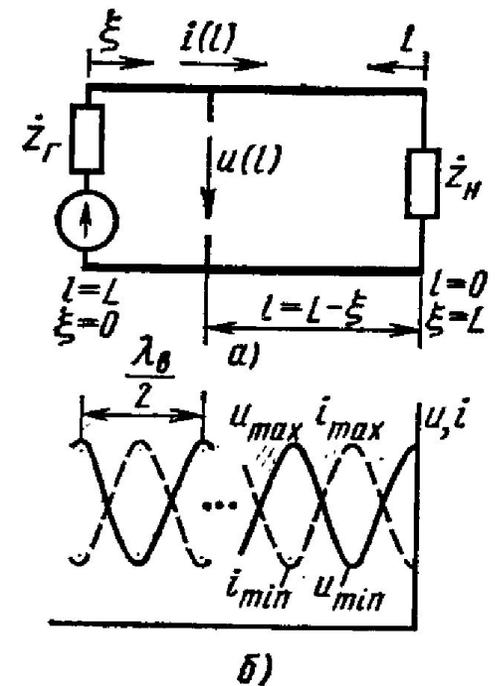


Рис. 1.4. Линия передачи мощности от генератора к нагрузке:

а — схема линии; б — распределения тока и напряжения

Трансформация сопротивлений и проводимостей вдоль линии передачи

Подставляя (1.26) в (1.25) и производя несложные преобразования с учетом формулы Эйлера $e^{\pm j\beta l} = \cos \beta l \pm j \sin \beta l$ и выражения (1.27), получаем формулу трансформации сопротивлений вдоль линии передачи:

$$\begin{aligned} \dot{z}(l) &= \frac{1 + \dot{\rho}(0) e^{-j2\beta l}}{1 - \dot{\rho}(0) e^{-j2\beta l}} = \\ &= \frac{\dot{z}_H + j \operatorname{tg} \beta l}{1 + j \dot{z}_H \operatorname{tg} \beta l} \end{aligned} \quad (1.28)$$

$$\dot{y}(l) = \frac{\dot{y}_H + j \operatorname{tg} \beta l}{1 + j \dot{y}_H \operatorname{tg} \beta l}, \quad (1.29)$$

Волновое сопротивление и проводимость, отличные от 1

Формулы преобразования сопротивлений и проводимостей при неединичном волновом сопротивлении трансформирующего отрезка получаются из (1.28) и (1.29) с помощью ренормировки $\dot{z} \rightarrow \dot{z}/z_B$ и $\dot{y} \rightarrow \dot{y}z_B$:

$$\dot{z}(l) = z_B \frac{\dot{z}_H + jz_B \operatorname{tg} \beta l}{z_B + j\dot{z}_H \operatorname{tg} \beta l}; \quad \dot{y}(l) = \frac{1}{z_B} \frac{\dot{y}_H z_B + j \operatorname{tg} \beta l}{1 + j\dot{y}_H z_B \operatorname{tg} \beta l}. \quad (1.30)$$

Отметим, что значения сопротивлений в (1.30) являются безразмерными и нормированными для линии передачи основного тракта. Величина же безразмерного волнового сопротивления z_B в (1.30) зависит от различий между основной линией передачи тракта и трансформирующим отрезком в форме и размерах поперечного сечения и в параметрах магнитодиэлектриков. Численные значения z_B для каждого конкретного случая определяют электродинамическим расчетом или берут из справочников.

<http://www.mantaro.com/resources/impedance-calculator.htm> - программы расчета ВОЛНОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

MANTARO PRODUCT DEVELOPMENT SERVICES

Search ... Join Mantaro Mailing List

Home Services Industries Products **Resources** About Contact

Impedance Calculators

These calculators are used by Mantaro engineers and provided freely for your use. If you have any suggestions for improvement please email feedback@mantaro.com.

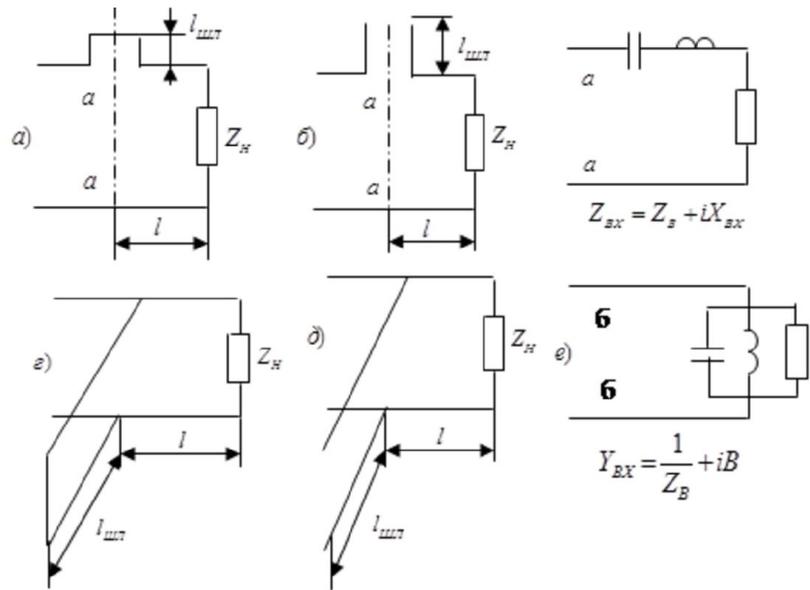
Calculator Group: Show All Groups Show All

 Wire Inductance	 Toroid Inductance	 Parallel Line Zo	 Plane Impedance	 Microstrip Zo	 Stripline Zo	 Attenuator	 Matching Net
 Strap Inductance	 Core Inductance	 Coax Zo	 Pad Capacitance	 Width from Zo	 Stripline Zdiff	 Y-Delta-Y	 VSWR
 Solenoid Ind.	$B = \mu H$ Magnetic Units	 Skin Depth	 Pad Thermal	 Mitered Corner	 Zdiff from Zo	 Splitter	 Smith Tuto
 Air Core Ind.	 Mutual Inductance	 Loaded Zo		 Microstrip Zdiff	 Asymmetric Zo	 Voltage Divider	 Z Calculat
 Flat Spiral Ind.				 Embedded Zo	 Broad Side	 1, 5, 10% Values	

1, 5, 10% Values

Адрес: ...
Число экранировки Windows, перейдите в параметры
КОМПЬЮТЕРА.

Реактивные шлейфы



$Z_{в\text{шл}} = Z_в$, где $Z_в$ — волновое сопротивление линии

Такой термин употребляется для отрезков линии передачи с режимом короткого замыкания или холостого хода в сечении нагрузки. Из формул трансформации (1.30) следующие формулы для реактивных входных сопротивлений и проводимостей шлейфов:

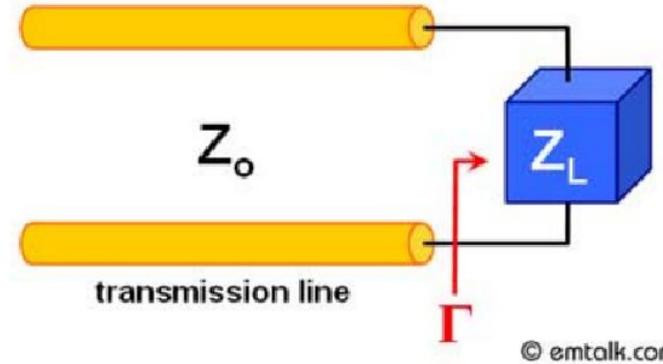
$$\begin{aligned} \dot{z}_к &= jz_в \operatorname{tg} \beta l; & \dot{y}_к &= \frac{-j}{z_в} \operatorname{ctg} \beta l; \\ \dot{z}_х &= -jz_в \operatorname{ctg} \beta l; & \dot{y}_х &= \frac{j}{z_в} \operatorname{tg} \beta l. \end{aligned} \quad (1.31)$$

Отрезки короткозамкнутых линий с длиной менее полуволны часто используют в качестве согласующих элементов, а также в качестве элементов колебательных контуров с распределенными параметрами. Разомкнутые отрезки применяют значительно реже, причем в полых волноводах и многих других линиях передачи режим холостого хода нежелателен из-за интенсивного излучения выходного отверстия.

VSWR Calculator – калькулятор КСВ

<http://www.emtalk.com/vswr.php>

VSWR Calculator



Parameters

Z_0 : Ω
Real Part of Z_L : Ω
Imaginary Part of Z_L : Ω

Enter Value

GAMMA ▾

Results

VSWR ▾

dB ▾

Четвертьволновый трансформатор

$$\left[l = \frac{\lambda_B}{4} (2n + 1) \right]$$

Этот термин употребляется для отрезков линии передачи с электрической длиной $\beta l = \pi/2 + n\pi$, где $n = 0, 1, 2, \dots$. При такой длине трансформатора из формул (1.28) и (1.29) следует, что

$$\dot{z}(\lambda_B/4) \dot{z}(0) = 1; \quad \dot{y}(\lambda_B/4) \dot{y}(0) = 1. \quad (1.32)$$

Это означает, что четвертьволновой отрезок линии передачи с единичным волновым сопротивлением преобразует нагрузку \dot{z}_H в сопротивление величиной $1/\dot{z}_H$, т. е. в сопротивление, численно равное проводимости нагрузки. Это положение справедливо и для проводимостей, т. е. проводимость нагрузки \dot{y}_H преобразуется четвертьволновым трансформатором с $z_B = 1$ в величину проводимости, численно равную сопротивлению нагрузки.

При неединичном волновом сопротивлении соотношение (1.32) принимает вид:

$$\dot{z}(\lambda_B/4) \dot{z}(0) = z_{тр}^2. \quad (1.33)$$

Отсюда следует, что четвертьволновый трансформатор с волновым сопротивлением $z_{тр} = \sqrt{r_1 r_2}$ может использоваться для согласования генератора с внутренним активным сопротивлением r_1 с произвольной чисто активной нагрузкой r_2 . Точное согласование обеспечивается только на расчетной частоте $\omega_0 = 2\pi v_\phi / \lambda_B$, где v_ϕ — фазовая скорость в отрезке линии, а также на кратных частотах $\omega_0(2n + 1)$, когда длина трансформатора составляет четверть длины волны в линии плюс целое число полуволн n .

Quarter Wavelength Transformer Calculator

<http://www.daycounter.com/Calculators/Quarter-Wavelength-Transformer-Calculator.phtml>

Quarter Wavelength Transformer Calculator

See our other [Electronics Calculators](#).

This calculator computes the characteristic impedance of the transmission which matches two impedances.

Z1	<input type="text" value="75"/>	(ohms)
Z2	<input type="text" value="50"/>	(ohms)
<input type="button" value="Compute"/>		
Zo	<input type="text" value="61.24"/>	(ohms)

Other Electronics Links

We offer a broad range of [electrical engineering calculators](#) and [electronics articles and tutorials](#).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ПРОВОДИМОСТЕЙ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Если сопротивление нагрузки чисто активно, то формулы (1.28) и (1.29) могут быть несколько преобразованы. При активной нагрузке $r_H = 1/g_H$ коэффициент отражения является вещественной величиной:

$$\rho_H = \frac{r_H - 1}{r_H + 1} = \frac{1 - g_H}{1 + g_H},$$

и коэффициент бегущей волны составит:

$$K = \frac{1 - |\rho_H|}{1 + |\rho_H|} = \begin{cases} r_H & \text{при } r_H < 1; \\ 1/r_H & \text{при } r_H > 1. \end{cases} \quad (1.34)$$

При $r_H < 1$ в конце линии устанавливается минимум (или узел) напряжения, а при $r_H > 1$ — максимум (или пучность) напряжения. Так как в линии передачи без потерь КБВ не изменяется вдоль линии, то формула (1.34) связывает значение КБВ с сопротивлением в любом минимуме или максимуме продольного распределения напряжения. Подставляя (1.34) в формулы (1.28), (1.29), получаем

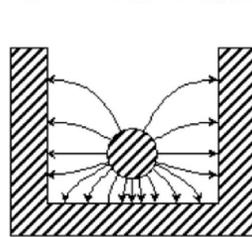
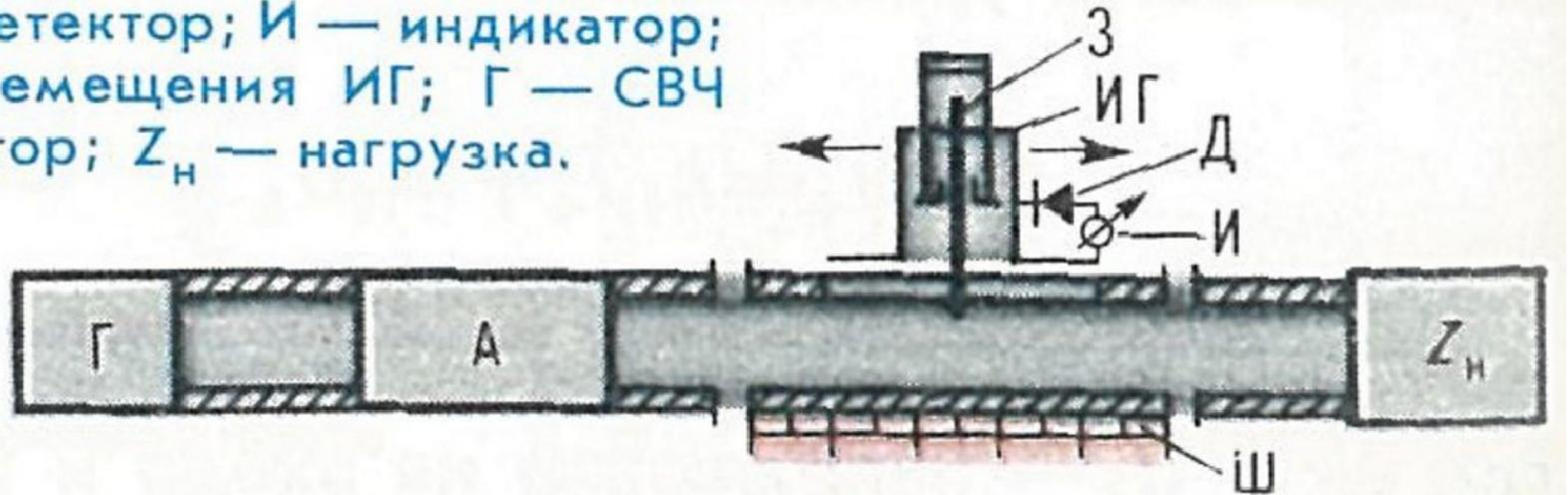
$$\dot{z}_{вх} = \frac{1}{\dot{y}_{вх}} = \frac{K + j \operatorname{tg} \beta l_{уз}}{1 + jK \operatorname{tg} \beta l_{уз}} = \frac{1 + jK \operatorname{tg} \beta l_{пуч}}{K + j \operatorname{tg} \beta l_{пуч}}, \quad (1.35)$$

где расстояние до сечения, в котором существует $\dot{z}_{вх}$, отсчитывается в сторону генератора либо от узла распределения напряжения $l_{уз}$, либо от пучности распределения напряжения $l_{пуч}$.

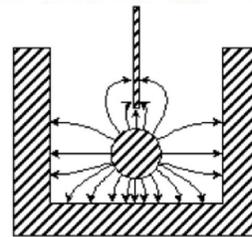
Формулу (1.35) можно переписать

Измерительная линия

Измерительная линия. Схема измерительной линии: З — подвижный зонд; ИГ — индикаторная головка (каретка); Д — детектор; И — индикатор; Ш — шкала отсчёта перемещения ИГ; Г — СВЧ генератор; А — аттенюатор; Z_H — нагрузка.



а) без зонда



б) при наличии зонда

Электрическое поле в измерительной линии.

На измерительной линии при перемещении подвижного зонда связи снимают картину продольного распределения поля (см. рис. 1.4) и по отношению минимального и максимального значений напряжения находят коэффициент бегущей волны $K = u_{\min}/u_{\max}$ *. Кроме того, находят расстояние $l_{уз}$ от узла распределения напряжения до сечения расположения нагрузки. Затем по формуле (1.35) или по круговой номограмме может быть найдена величина сопротивления или проводимости нагрузки. При пользовании формулой (1.35) расстояние $l_{уз}$ (или $l_{пуч}$) нужно подставлять со знаком минус, так как нагрузка располагается дальше от генератора, чем узел (или пучность) распределения напряжения.

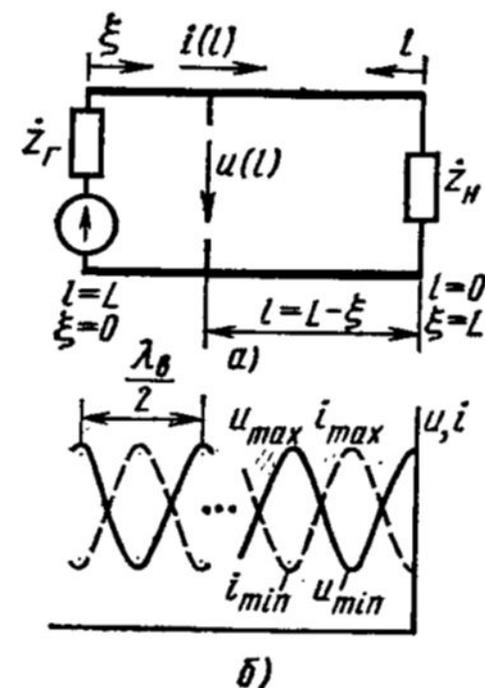
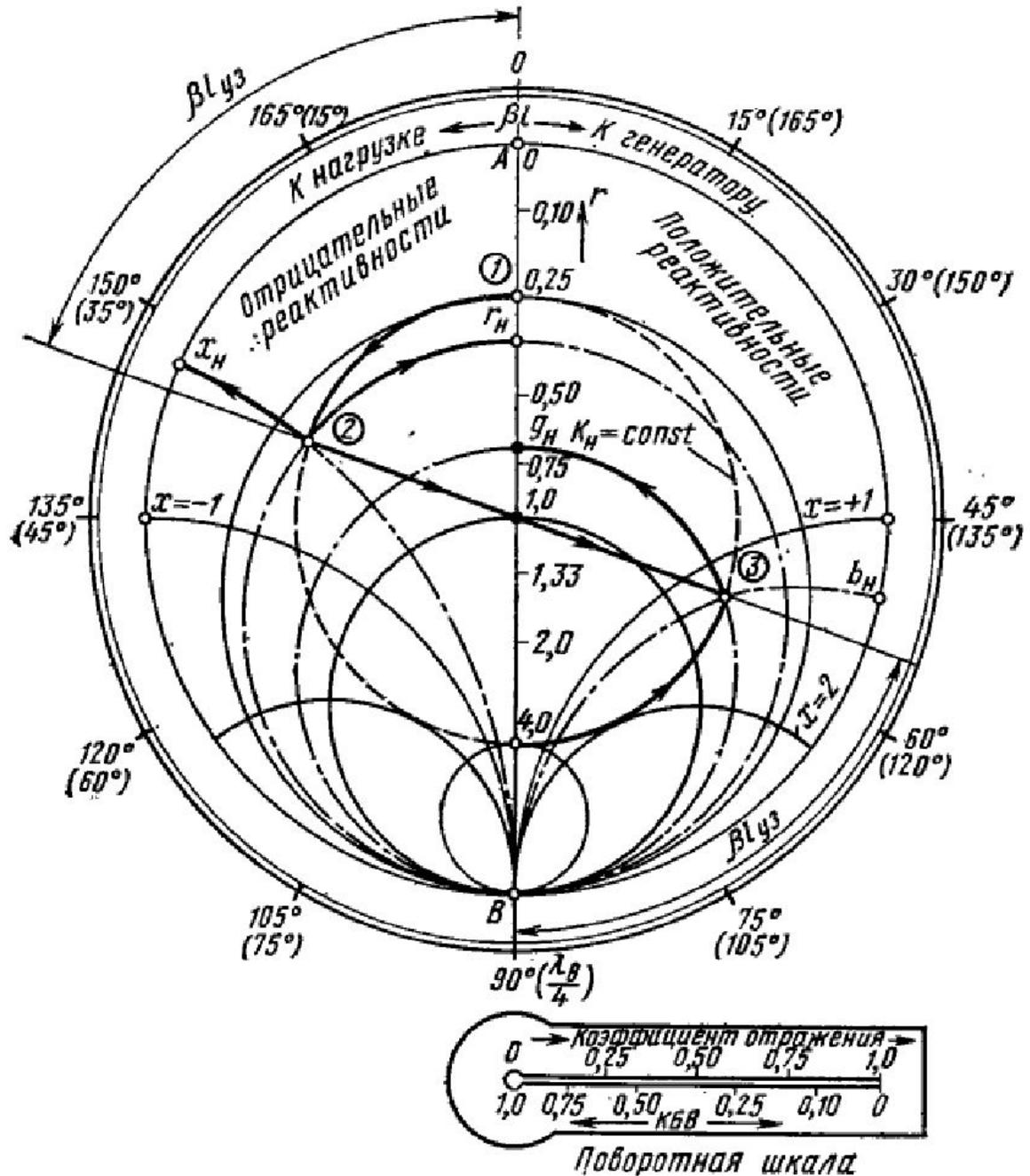


Рис. 1.4. Линия передачи мощности от генератора к нагрузке:
 а — схема линии; б — распределения тока и напряжения

Диаграмма Вольперта-Смита



Основу для построения круговой номограммы составляют формулы (1.26) для коэффициента отражения и (1.28) для трансформации нормированных сопротивлений, дополненные соотношением связи (1.27) между коэффициентом отражения ρ и сопротивлением z . Коэффициент отражения на круговой номограмме (рис. 1.9)

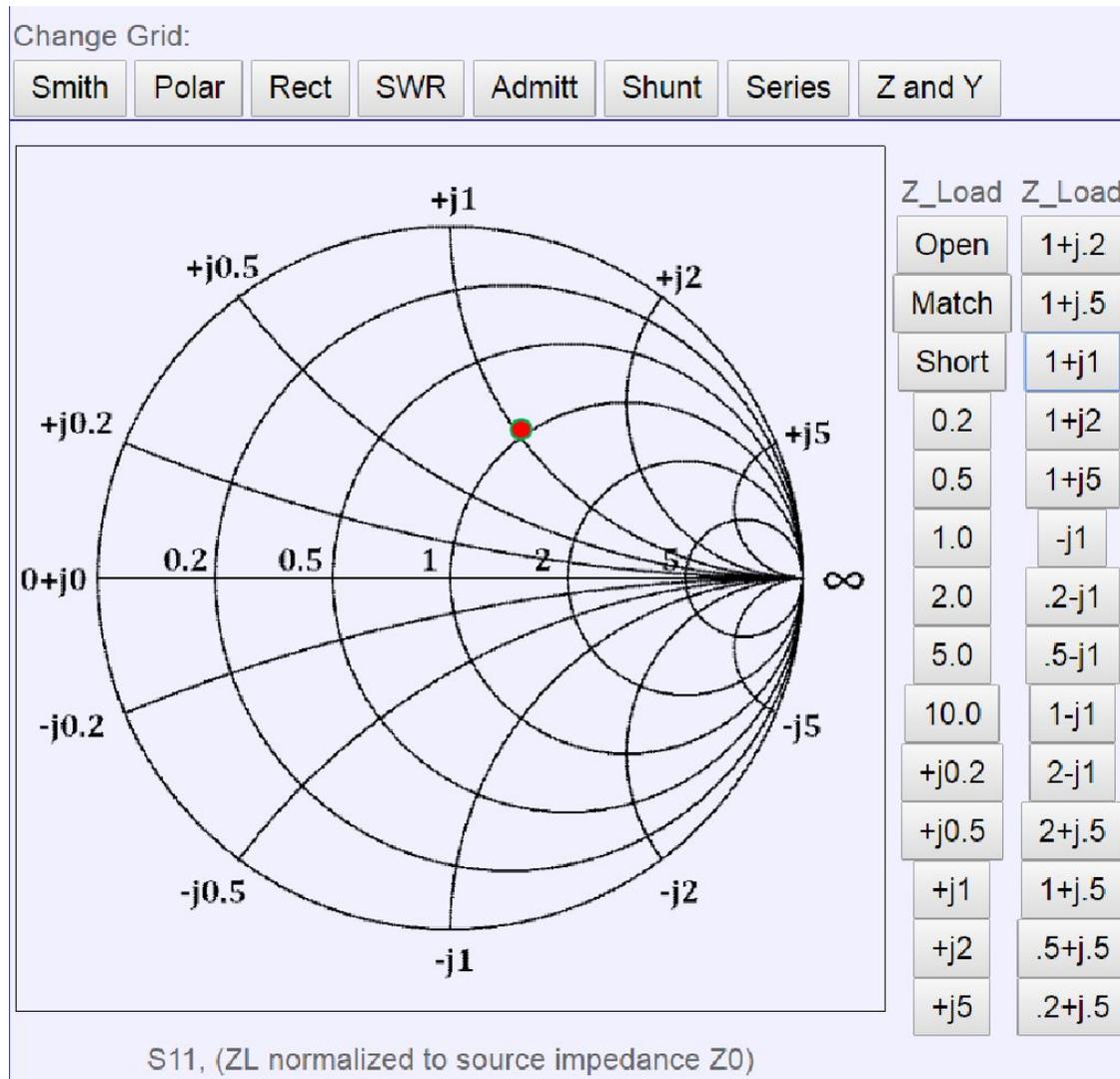
изображается в полярной системе координат, причем радиусу соответствует модуль коэффициента отражения, а полярному углу φ — удвоенное электрическое расстояние вдоль линии передачи, т. е. фазовый угол коэффициента отражения $\varphi = 2\beta l$. Для пассивных устройств модуль коэффициента отражения не превосходит

единицы, поэтому номограмма ограничена окружностью единичного радиуса $|\rho| = 1$. Центр номограммы соответствует нулевому коэффициенту отражения. Электрическая длина отсчитывается на номограмме в виде углов поворота радиуса-вектора, вращающегося вокруг центра диаграммы. Повороту по часовой стрелке соответствует перемещение наблюдаемого сечения в линии передачи в сторону генератора. Полный оборот соответствует расстоянию $l = \lambda/2$ вдоль линии передачи. Четвертьволновое расстояние определяется половиной оборота.

Инструкция по работе с диаграммой Смита из учебника Сазонова (самостоятельно)

Диаграмма Смита

<http://www.mantaro.com/resources/impedance-calculator.htm> (инструкцию перевести на русский)



Узкополосное согласование

Рассмотрим так называемое *узкополосное согласование*, при котором режим бегущей волны достигается только на единственной расчетной частоте. При отклонении частоты от расчетной возникает рассогласование и наблюдается снижение КБВ. Характерная частотная зависимость поведения КБВ при узкополосном согласовании показана на рис. 1.10. Полоса частот, для которых КБВ в тракте превышает заранее установленное допустимое значение K_{min} (например, $K_{min}=0,8$), называется полосой частот согласования Δf_c .

Для достижения узкополосного согласования достаточно компенсировать отражения от нагрузки на выбранной расчетной частоте путем внесения в каком-либо сечении линии передачи компенсирующего отражения. При этом для обеспечения более широкой полосы согласования необходимо стремиться к возможно меньшей длине согласующего устройства и к возможно более близкому расположению этого устройства от нагрузки. Тогда при отклонении частоты от расчетной изменение электрических длин в согласующем устройстве будет наименьшим и рассогласование с изменением частоты будет нарастать медленнее.

При узкополосном согласовании используются трансформаторы в виде отрезков линии передачи с измененным волновым сопротивлением, а также сосредоточенные реактивности (например шлейфы), располагаемые в нужном сечении линии передачи.

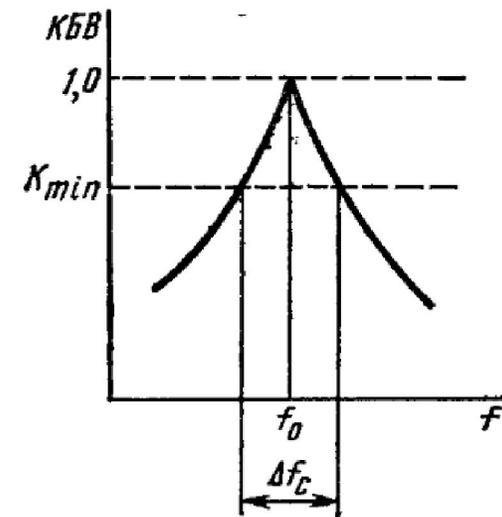


Рис. 1.10. Зависимость КБВ от частоты при узкополосном согласовании

Использованные источники

Д. М. САЗОНОВ,
А. Н. ГРИДИН,
Б. А. МИШУСТИН

УСТРОЙСТВА СВЧ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ПРОФЕССОРА Д. М. САЗОНОВА

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве
учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Радиотехника»



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1981