

Справочник радиоинженера

Radio Engineer's Handbook

Формулы, графики,
таблицы пересчета



Электронная версия
справочника



Присоединяйтесь
к нам в MAX

 **ДИПОЛЬ**

Группа компаний «Диполь» (основана в 1992 г.) занимает лидирующие позиции в области разработки и реализации высокотехнологичных проектов для промышленных отраслей России и является ведущим поставщиком технологических знаний для специалистов радиоэлектронных производств.

«Диполь» выполняет весь комплекс работ по созданию современного предприятия, проектирует и возводит производственные помещения с инженерной инфраструктурой, осуществляет оснащение инновационным технологическим, измерительным и испытательным оборудованием, поставляет технологические материалы и программное обеспечение собственной разработки.

Поставка оборудования и программного обеспечения

- Производство электроники и микроэлектроники
- Радиоизмерения, ЭМС, метрологическое оборудование
- Испытательное и измерительное оборудование
- Метрология и поверка
- Ручная пайка и визуальный контроль
- Инженерная инфраструктура
- Оснащение производственных помещений и персонала
- Промышленная и лабораторная мебель собственного производства
- ПО для управления производством и автоматизации измерений
- 3D-принтеры
- Технологические материалы

Услуги и сервис

- Технологический аудит и экспертиза
- Проектирование и строительство
- Управление производством
- Аддитивное производство
- Метрологические услуги
- ESD аудит



Санкт-Петербург

ул. Большая Монетная, д. 16
+7 (812) 702-12-66

Москва

Огородный проезд, д. 16/1
8 (800) 200-02-66



www.dipaul.ru
info@dipaul.ru



Справочник радиоинженера

Формулы, графики, таблицы пересчета

Справочник разработан и составлен специалистами АО «НПФ «Диполь» с целью облегчения пользования радиотехническими формулами, таблицами пересчета величин, понимания часто используемых в радиотехнике терминов, обозначения диапазонов СВЧ, использования антенн и антенных систем при измерениях и соблюдении требований по ЭМС при разработке РЭУ.

Авторы:

Шостак А.А. (Технический специалист, ГК Диполь)

Исаков А.В. (Специалист по маркетингу, ГК Диполь)

г. Санкт Петербург, 2025

Запрещается дублирование материалов справочника, как в полном объеме, так и отдельных его частей без письменного разрешения компании: Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Диполь» (ИНН: 7804137537, ОГРН: 1027802497656, юридический адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Монетная, дом 16, корпус 45, литер Я, пом. 52, в частности: перевод на другие языки и передача в любой форме и с помощью любых средств: электронных, механических, фотокопий, записей или иных средств с целью тиражирования, публикации в СМИ и размещения в иных открытых источниках.

Исключения:

Исключение составляют все письменные соглашения; предоставление справочника пользователям вместе с технической документацией; для целей, связанных с обучением или профессиональной деятельностью пользователя.

Все значения, формулы и другие данные, содержащиеся в этом документе, носят исключительно справочный характер.



Содержание

Физические константы	3
Электротехника	5
Радиоизмерения	12
Преобразования между линейными и логарифмическими значениями	21
Антенны и антенные системы	30
Электромагнитная совместимость	41
Измеряем правильно	45
Системы оптической связи	55
Термины и сокращения	59
Заметки	63

Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста,
пройдите простую регистрацию на нашем
официальном сайте. После заполнения формы
вам будет доступен Справочник в удобном
формате — электронном или печатном.



1. Физические константы

Название константы	Обозначение	Приблиз. значение	Единица измер.	Применение и примечания
Скорость света	c	$3 \cdot 10^8$	м/с	Ключевая для расчёта длины волны. $\lambda = c / f$
Элементарный заряд (заряд электрона)	e	$1.6 \cdot 10^{-19}$	Кл	Расчёт тока, заряд частиц, работа полупроводниковых приборов.
Постоянная Планка	h	$6.63 \cdot 10^{-34}$	Дж•с	Квантовая физика: энергия фотона $E = h \cdot f$, шумы.
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$	Дж/К	Тепловые шумы: мощность шума $P = k \cdot T \cdot B$.
Электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума)	ϵ_0	$8.85 \cdot 10^{-12}$	Ф/м	Расчёт ёмкости, волнового сопротивления, параметров линий передачи.
Магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума)	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1.2566 \cdot 10^{-6}$	Гн/м	Расчёт индуктивности, волнового сопротивления.
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5.67 \cdot 10^{-8}$	Вт/(м ² •К ⁴)	Излучение абсолютно чёрного тела (расчёт теплового излучения компонентов).
Волновое сопротивление вакуума	Z_0	$120\pi \approx 376.73$	Ом	Характеристическое сопротивление свободного пространства. Важно для теории антенн и ЭМ-волн.
Постоянная Фарадея	F	$9.65 \cdot 10^4$	Кл/моль	Электрохимия (для расчёта аккумуляторов и батарей).

Таблица приставок СИ для степеней десяти

Приставка	Символ	Степень	Пример
тера	<i>T</i>	10^{12}	ТГц (терагерц)
гига	<i>G</i>	10^9	ГГц (гигагерц)
мега	<i>M</i>	10^6	МОм (мегаом), МГц (мегагерц)
кило	<i>k</i>	10^3	кОм (килоом)
милли	<i>m</i>	10^{-3}	мВ (милливольт), мА (миллиампер)
микро	<i>мк</i>	10^{-6}	мкФ (микрофарада), мкс (микросекунда)
нано	<i>n</i>	10^{-9}	нФ (нанофарада), нс (наносекунда)
пико	<i>p</i>	10^{-12}	пФ (пикофарада)
фемто	<i>f</i>	10^{-15}	фс (фемтосекунда)
атто	<i>a</i>	10^{-18}	ас (аттосекунда)

**Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.**

Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.



2. Электротехника

Закон Джоуля-Ленца

Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени, в течение которого электрический ток протекал по проводнику.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Q — количество выделившейся **теплоты**, измеряется в **Джоулях (Дж)**

I — **сила тока**, измеряется в **Амперах (А)**

R — **сопротивление** проводника, измеряется в **Омах (Ом)**

t — **время**, измеряется в **секундах (с)**

Закон Ома для полной цепи

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе (ЭДС) источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

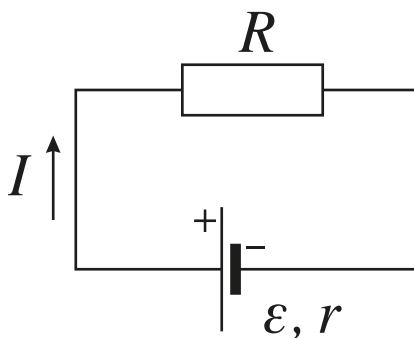
$$I = \varepsilon / (R + r)$$

I — **сила тока** в цепи, измеряется в **Амперах (А)**

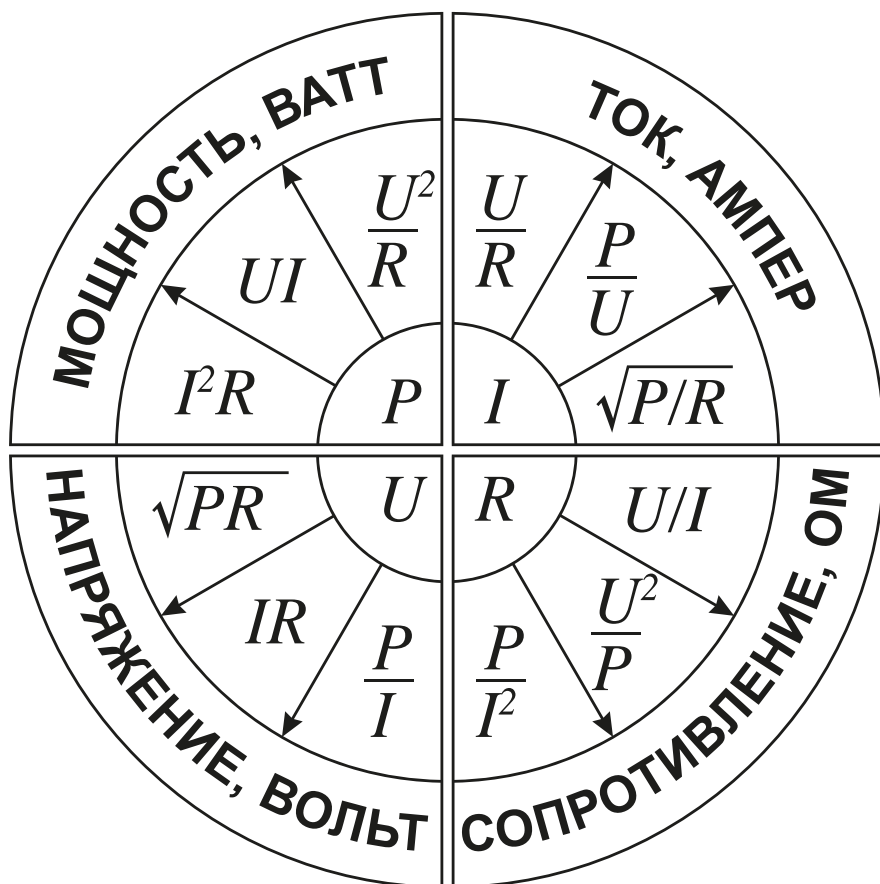
ε (эпсилон) — **Электродвижущая сила (ЭДС)** источника тока, измеряется в **Вольтах (В)**

R — **Внешнее сопротивление** (нагрузка, все потребители в цепи), измеряется в **Омах (Ом)**

r — **Внутреннее сопротивление** источника тока (например, сопротивление аккумулятора), измеряется в **Омах (Ом)**



Круг закона Ома



Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста,
пройдите простую регистрацию на нашем
официальном сайте. После заполнения формы
вам будет доступен Справочник в удобном
формате — электронном или печатном.



Закон Ома для участка цепи

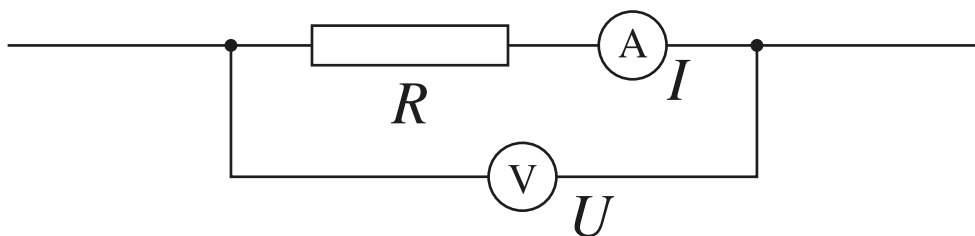
Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна его сопротивлению.

$$I = U / R$$

I — сила тока в цепи, измеряется в **Амперах (А)**

U — напряжение на участке цепи, измеряется в **Вольтах (В)**

R — сопротивление участка цепи, измеряется в **Омах (Ом)**



Первый Закон Кирхгофа

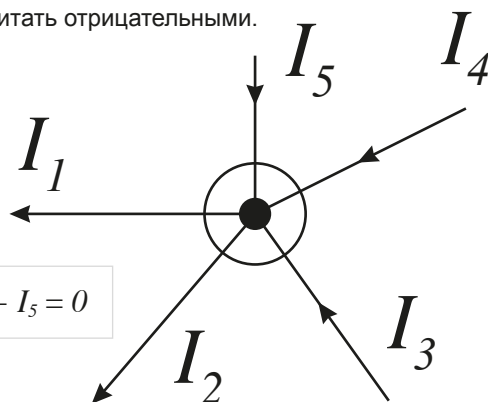
Алгебраическая сумма токов в любом узле (точке цепи, в которой сходится три или более проводника) электрической цепи равна нулю. При этом:

- Токи, втекающие в узел, принято считать положительными
- Токи, вытекающие из узла, принято считать отрицательными.

$$\sum I_k = 0$$

$\sum$ (сигма) — знак суммы

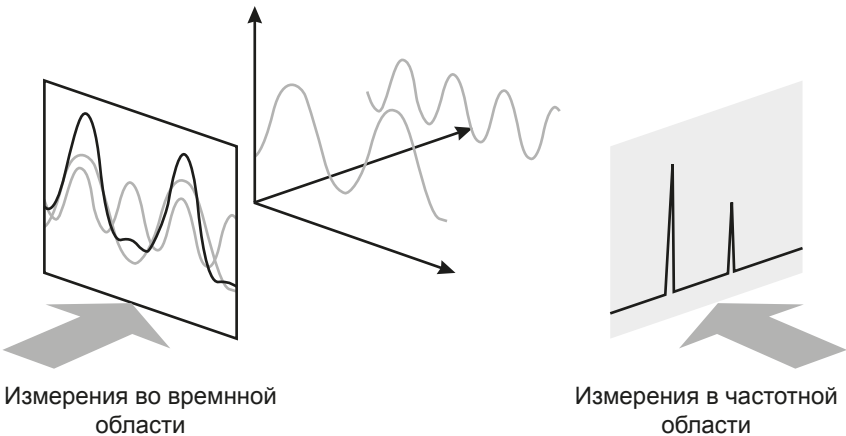
I_k — токи, сходящиеся в узле.



$$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

3. Радиоизмерения

Взаимосвязь между временной и частотной областями.



Измерительные тракты и области их применения

Сопротивление тракта	Мощность	Напряжение	Примечание
50 Ом	1 мВт	0,224 В	Радиотехника
60 Ом	1 мВт	0,245 В	Радиотехника (устар.)
75 Ом	1 мВт	0,274 В	Телевизионная техника
600 Ом	1 мВт	0,775 В	Акустика

Внимание! Вы скачали Lite* версию Справочника Радиоинженера.
Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.



Классификация частотных диапазонов и их применение

Названия диапазонов	Диапазон частот	Длина волны	Основные применения
Очень низкие (ОНЧ, VLF)	3–30 кГц	100–10 км	Навигационные системы (LORAN-C), часы, связь с подлодками
Низкие (НЧ, LF)	30–300 кГц	10–1 км	Дальняя морская и авиационная навигация (NDB), AM-радиовещание (ДВ-диапазон)
Средние (СЧ, MF)	300–3000 кГц	1 км–100 м	AM-радиовещание (СВ-диапазон), морская радиотелефония, аварийные маяки (COSPAS-SARSAT)
Высокие (ВЧ, HF)	3–30 МГц	100–10 м	Короткие волны (КВ): любительская радиосвязь, дальняя связь (за счёт отражения от ионосферы), военная связь, морская и воздушная связь
Очень высокие (ОВЧ, VHF)	30–300 МГц	10–1 м	УКВ-диапазон: FM-радиовещание, телевидение (каналы 1-12), морская связь, авиационная связь, спасательные службы (полиция, скорая помощь), любительская радиосвязь
Ультра высокие (УВЧ, UHF)	300–3000 МГц	1 м–10 см	Телевидение (каналы с 21 и выше), сотовые телефоны (GSM, 3G, 4G, 5G), Wi-Fi, Bluetooth, GPS/ГЛОНАСС, спутниковая связь, рации (PMR, LPD)
Сверх высокие (СВЧ, SHF)	3–30 ГГц	10–1 см	Микроволны: спутниковое телевидение и интернет, радиорелейные линии связи, радары, Wi-Fi (5ГГц), сотовая связь (5G)
Крайне высокие (КВЧ, EHF)	30–300 ГГц	1 см–1 мм	Миллиметровые волны: высокоскоростная беспроводная передача данных (WiGig), научные исследования (радиоастрономия), перспективные системы связи (6G и выше), автомобильные радары
Терагерцовые	300 ГГц–3 ТГц	1–0.1 мм	Перспективные системы связи, медицинская визуализация, спектроскопия, безопасность (сканеры)

Диапазоны СВЧ

Обозначение	Диапазон частот	Диапазон длин волн	Основное применение
L-band	1 - 2 ГГц	30 - 15 см (дециметровые)	Спутниковая навигация (GPS, ГЛОНАСС), мобильная спутниковая связь, сотовая связь (4G/5G).
S-band	2 - 4 ГГц	15 - 7.5 см	Радары, Wi-Fi (2.4 ГГц), спутниковая связь, 5G.
C-band	4 - 8 ГГц	7.5 - 3.25 см	Спутниковое ТВ и связь (C-band downlink), радары, радиорелейные линии.
X-band	8 - 12,4 ГГц	2.42 - 1.67 см	Спутниковая связь (военная), радары (погодные, управления оружием), радиоастрономия.
Ku-band	12,4 - 18 ГГц	10 - 1 м	Спутниковое ТВ (DTH), спутниковый интернет, радары высокого разрешения.
K-band	18 - 26,6 ГГц	1.67 - 1.13 см	Автомобильные радары (24 ГГц), астрономия, спутниковая связь.
Ka-band	26,6 - 40 ГГц	1.13 - 0.75 см	Высокоскоростной спутниковый интернет (Starlink), спутниковая связь нового поколения.
U +V-band	40 - 75 ГГц	0.75 - 0.4 см (миллиметровые)	Экспериментальная беспроводная связь (WiGig - 60 ГГц), научные исследования.

Внимание! Вы скачали Lite* версию Справочника Радиоинженера.

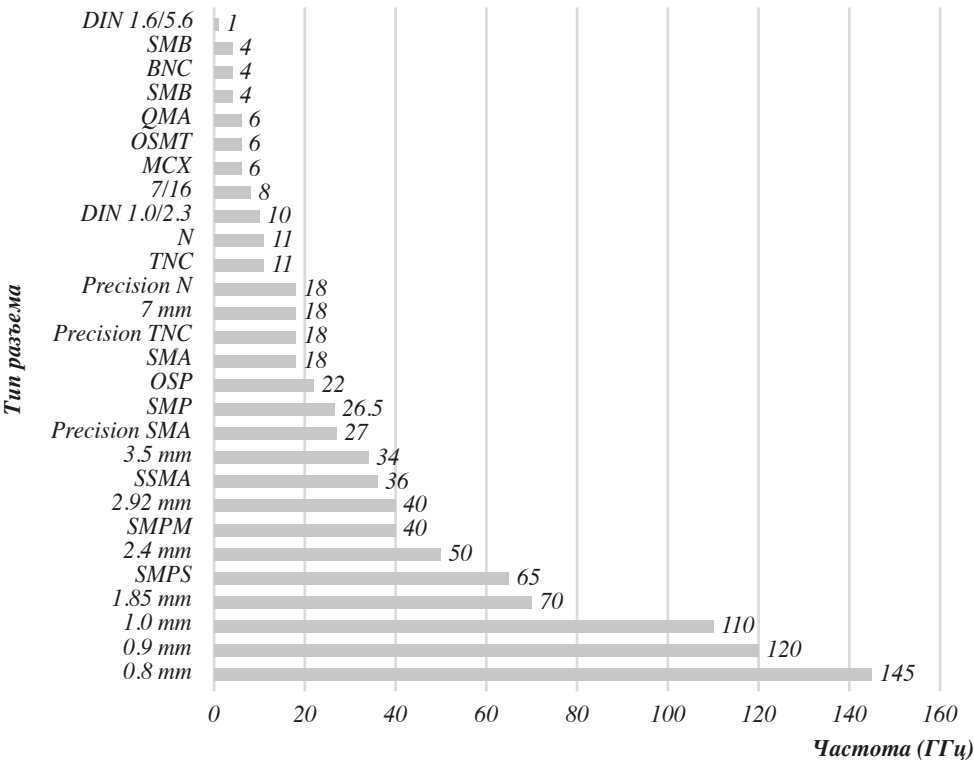
Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.



Механическая совместимость СВЧ разъемов

	SMA	3.50 mm	2.92 mm	2.40 mm	1.85 mm
SMA	☑	☑	☑		
3.50 mm	☑	☑	☑		
2.92 mm	☑	☑	☑		
2.40 mm				☑	☑
1.85 mm				☑	☑

Типы зарубежных СВЧ разъемов и их рабочие частотные диапазоны



4. Преобразования между линейными и логарифмическими значениями

Линейные единицы → Логарифмические (дБ)

Вольты → дБм	$\partial Бм = 20 \cdot \log(\text{Вольт}) + 13$
Амперы → дБм	$\partial Бм = 20 \cdot \log(\text{Ампер}) + 47$
Ватты → дБмкВ	$\partial БмкВ = 10 \cdot \log(\text{Ватт}) + 137$
Амперы → дБмкА	$\partial БмкА = 20 \cdot \log(\text{Ампер}) + 154$
Ватты → дБмкА	$\partial БмкА = 10 \cdot \log(\text{Ватт}) + 103$
Вольты → дБмкА	$\partial БмкА = 20 \cdot \log(\text{Вольт}) + 86$
Ватты → дБм	$\partial Бм = 10 \cdot \log(\text{Ватт}) + 30$
Вольты → дБмкВ	$\partial БмкВ = 20 \cdot \log(\text{Вольт}) + 120$

Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста,
пройдите простую регистрацию на нашем
официальном сайте. После заполнения формы
вам будет доступен Справочник в удобном
формате — электронном или печатном.



Логарифмические → Линейные (обратные преобразования)

дБм → Ватты	$Ватты = 10^{\left(\frac{\partial Бм - 30}{10}\right)}$
дБмкВ → Вольты	$Вольты = 10^{\left(\frac{\partial БмкВ - 120}{20}\right)}$
дБмкА → Амперы	$Амперы = 10^{\left(\frac{\partial БмкА - 120}{20}\right)}$
дБОм → Ом	$\Omega = 10^{\left(\frac{\partial БОм}{20}\right)}$
дБмкВ → Ватты	$Ватты = 10^{\left(\frac{\partial БмкВ - 137}{10}\right)}$
дБмкА → Ватты	$Ватты = 10^{\left(\frac{\partial БмкА - 103}{10}\right)}$
дБм → Вольты	$Вольты = 10^{\left(\frac{\partial Бм - 13}{20}\right)}$
дБмкА → Вольты	$Вольты = 10^{\left(\frac{\partial БмкА - 86}{20}\right)}$
дБм → Амперы	$Амперы = 10^{\left(\frac{\partial Бм - 47}{20}\right)}$
дБмкВ → Амперы	$Амперы = 10^{\left(\frac{\partial БмкВ - 154}{20}\right)}$

Типовые значения дБ используемые для быстрых расчетов

Значение	Отношение мощностей (P_2/P_1)		Отношение напряжений (V_2/V_1)	
	Прибли- тельное	Точное	Прибли- тельное	Точное
0,1 дБ	$\pm 2 \%$	$+2,3 \%$ / $-2,3 \%$	$\pm 1 \%$	$+1,16 \%$ / $-1,15 \%$
0,2 дБ	$\pm 4 \%$	$+4,7 \%$ / $-4,5 \%$	$\pm 2 \%$	$+2,33 \%$ / $-2,23 \%$
0,5 дБ	$\pm 10 \%$	$+12,2 \%$ / $-10,9 \%$	$\pm 5 \%$	$+5,9 \%$ / $-5,5 \%$
1 дБ	$\pm 20 \%$	$+25,9 \%$ / $-20,5 \%$	$\pm 10 \%$	$+12,2 \%$ / $-11,9 \%$
3 дБ	2 0,5	1,995 0,501	1,4 0,7	1,412 0,708
3,02 дБ	2 0,5	2,0 0,5	1,414 0,707	$\sqrt{2}$ $1/\sqrt{2}$
5 дБ	3 0,33	3,16 0,316	1,8 0,6	1,778 0,562
6 дБ	4 0,25	3,98 0,251	2 0,5	1,995 0,501
10 дБ	10 0,1	10 0,1	3 0,3	3,162 0,316
20 дБ	100 0,01	100 0,01	10 0,1	10 0,1
40 дБ	10000 0,0001	10000 0,0001	100 0,01	100 0,01

Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста,
пройдите простую регистрацию на нашем
официальном сайте. После заполнения формы
вам будет доступен Справочник в удобном
формате — электронном или печатном.



Поправочные коэффициенты для сложения значений в децибелах

Разность, дБ	Мощность (дБ)	Напряжение (дБ)
0	3,01	6,02
1	2,54	5,53
2	2,12	5,08
3	1,76	4,65
4	1,46	4,25
5	1,19	3,88
6	0,97	3,53
7	0,79	3,21
8	0,64	2,91
9	0,51	2,64
10	0,41	2,39
11	0,33	2,16
12	0,27	1,95
13	0,21	1,75
14	0,17	1,58
15	0,14	1,42
16	0,11	1,28
17	0,09	1,15
18	0,07	1,03
19	0,05	0,92
20	0,04	0,83

5. Антенны и Антенные системы

Внутреннее сопротивление свободного пространства

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120 \cdot \pi \Omega \approx 377 \Omega$$

Z_0 — внутреннее (волновое) сопротивление свободного пространства, в Ом.

μ_0 — магнитная проницаемость вакуума ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$).

ε_0 — электрическая проницаемость вакуума ($8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$).

Значение важно при расчёте полей в свободном пространстве, например, для оценки соотношения электрического и магнитного полей в плоской волне.

Связь между электрическим и магнитным полями

$$E = Z_0 \cdot H \quad \text{или} \quad H = \frac{E}{Z_0}$$

E — напряжённость электрического поля, В/м,

H — напряжённость магнитного поля, А/м,

Z_0 — волновое сопротивление свободного пространства (377 Ом).

В плоской электромагнитной волне в вакууме отношение E/H всегда равно Z_0 . Это ключевое соотношение в теории антенн и распространения радиоволн.

Внимание! Вы скачали Lite* версию Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.



Волновое сопротивление коаксиальной линии

Формула используется при проектировании коаксиальных кабелей (RG-58, RG-213, LMR-400).

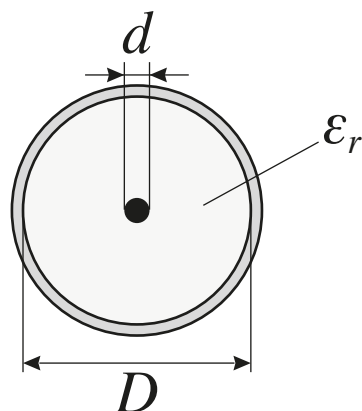
$$Z_L \approx 60\Omega \cdot \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Z_L — волновое сопротивление коаксиальной линии, Ом,

ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость материала изолятора (безразмерная),

D — наружный диаметр экрана, м,

d — внутренний диаметр центрального проводника, м.



Волновое сопротивление симметричной двухпроводной линии

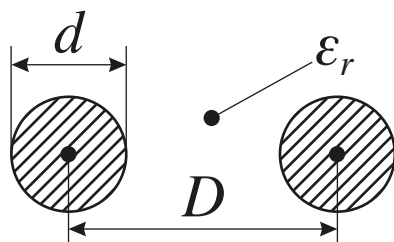
Используется для расчёта волнового сопротивления воздушных линий, диполей.

$$Z_L \approx 120\Omega \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{2D}{d}\right) \quad (\text{при } d \ll D)$$

D — расстояние между проводниками, м,

d — диаметр каждого проводника, м,

ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость среды между проводниками.



Направленность (Directivity)

Направленность — это геометрическая характеристика антенны, не учитывающая потери.

$$D = \frac{P_{max}}{P_{av}} \quad \text{и} \quad d = 10 \cdot \lg D$$

D — направленность антенны, безразмерная величина (линейная),

d — направленность в децибелах, дБ,

P_{max} — максимальная плотность излучаемой мощности в направлении главного лепестка,

P_{av} — средняя плотность излучаемой мощности по всем направлениям (по сфере).

Коэффициент направленного действия

Коэффициент направленного действия (КНД) — безразмерная величина, характеризующая способность антенны концентрировать излучаемую мощность в определённом направлении по сравнению с сферическим изотропным излучателем, который излучает энергию равномерно во всех направлениях.

$$D = \frac{P_{max}}{P_{av0}} \quad \text{и} \quad d = 10 \cdot \lg D$$

D — коэффициент направленного действия антенны (без потерь, линейной зависимости, размеров);

d — логарифмическое значение коэффициента направленного действия антенны дБ;

P_{max} — максимальная плотность энергии излучения в направлении пеленгации антенны;

P_{av} — средняя плотность энергии излучения сферического изотропного излучателя.

Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.





Коэффициент полезного действия излучения антенны

Коэффициент полезного действия излучения антенны — безразмерная величина, показывающая, какая доля подводимой к антенне мощности действительно излучается в пространство, а не рассеивается в виде тепла в проводниках, диэлектриках или согласующих элементах.

$$\eta = \frac{G}{D} \quad \text{или} \quad G = \eta \cdot D$$

η — коэффициент полезного действия излучения антенны (безразмерный);

G — коэффициент усиления антенны (включая омические потери, безразмерный);

D — коэффициент направленного действия антенны (без потерь, безразмерный).

Практический (действительный) коэффициент усиления антенны

Практический (действительный) коэффициент усиления антенны — реальный коэффициент усиления, учитывающий все виды потерь.

$$G_p = G \cdot (1 - |r|^2)$$

G_p — практический (действительный) коэффициент усиления антенны (включая активные (омические) потери и потери рассогласования (схемные), безразмерный);

G — коэффициент усиления антенны (включая омические потери, безразмерный);

r — коэффициент отражения (безразмерный).



6. Электромагнитная совместимость

Расчет напряженности электромагнитного поля и требуемой мощности для создания этого поля

Преобразование единиц напряжённости поля:

$$\frac{V}{m} = 10^{\left(\frac{dB_{\mu} V/m - 120}{20} \right)}$$

$dB_{\mu} V/m$ — напряжённость поля в децибелах относительно микровольта на метр,
 V/m — напряжённость поля в вольтах на метр.

Обратное преобразование:

$$dB_{\mu} V/m = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V}{m} \right) + 120$$

Расчет напряженности электромагнитного поля

$$\frac{V}{m} = \sqrt{\frac{30 \cdot P_{npd} \cdot G}{R}}$$

P_{npd} — подводимая мощность, Вт,

G — коэффициент усиления антенны (линейное),

R — расстояние до излучающей антенны, м.

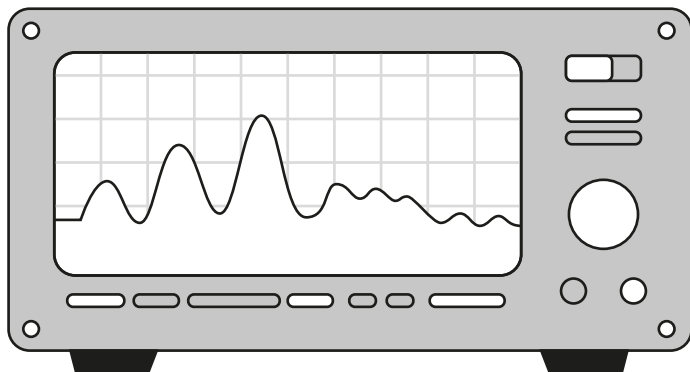
**Внимание! Вы скачали Lite* версию
 Справочника Радиоинженера.**

Чтобы получить полную версию, пожалуйста,
 пройдите простую регистрацию на нашем
 официальном сайте. После заполнения формы
 вам будет доступен Справочник в удобном
 формате — электронном или печатном.

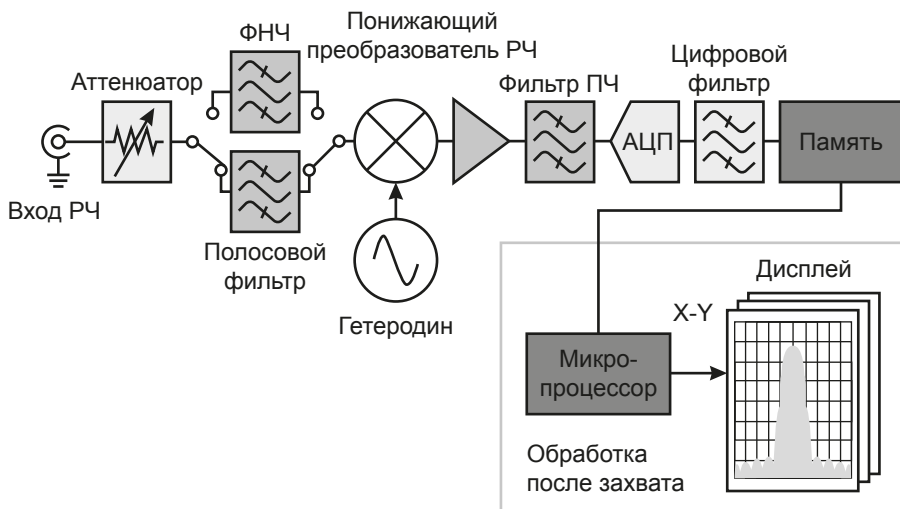


Анализатор спектра

Анализатор спектра — это измерительный прибор, предназначенный для наблюдения и количественного анализа распределения мощности сигнала в частотной области. В отличие от осциллографа, который отображает амплитуду сигнала во временной области, анализатор спектра отображает мощность сигнала в зависимости от частоты, обычно в диапазоне от единиц килогерц до десятков гигагерц.



Типовая блок-схема анализатора спектра



Основные параметры анализатора спектра:

Частотный диапазон: Основной диапазон анализируемых частот (от кГц до десятков ГГц).

Динамический диапазон: Разность (в дБ) между максимальным и минимальным уровнем сигнала, которые анализатор может отобразить одновременно. Определяется уровнем собственных шумов, интермодуляционными искажениями и компрессией.

Уровень собственных шумов: (DANL - Displayed Average Noise Level): Уровень шума, который виден на экране прибора. Зависит от полосы RBW. Чем уже RBW, тем ниже видимый уровень шума. Чувствительность прибора определяется этим параметром.

Фазовый шум (Phase Noise): Нестабильность частоты гетеродина. Проявляется как "размазывание" тонкого спектрального пика. Критически важен для измерения слабых сигналов, расположенных рядом с мощными.

Точность измерения уровня (Amplitude Accuracy): Суммарная погрешность, включающая неточность аттенюатора, усиления, частотной характеристики и калибровки.

Разрешение по частоте: RBW (Resolution Bandwidth): Ширина полосы ПЧ-фильтра, определяющая, насколько близкие по частоте сигналы прибор может различить

Полоса видеофильтра: VBW (Video Bandwidth): Цифровой фильтр после детектора, сглаживающий отображаемый сигнал и уменьшающий флуктуации отображаемого шума.

Максимальный входной уровень: Уровень сигнала, который можно подать на вход без повреждения прибора.

Полоса анализа: Диапазон частот высокоскоростного АЦП, использующегося для анализа и демодуляции широкополосных сигналов, I/Q-данных, захвата кратковременных и нестационарных сигналов.

Внимание! Вы скачали Lite* версию
Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.





8. Системы оптической связи

Параметр	Обозн.	Формула	Применение
Физические постоянные			
Скорость света в вакууме	c	$299\,792\,458\text{ м/с}$	Расчёт длины волны, задержки сигнала, дисперсии, ёмкости линии
Постоянная Планка	h	$6.626 \cdot 10^{-34}\text{ Дж} \cdot \text{с}$	Расчёт энергии фотона, чувствительности приёмников на квантовом уровне
Волновое число	k	$k = 2\pi / \lambda$	Моделирование распространения света, волновых мод, интерференции
Оптические параметры сигнала			
Длина волны	λ	—	Выбор рабочего окна (O/C/L-band), совместимость с волокном и оборудованием
Частота несущей	f	$f = c / \lambda$	Расчёт частотного плана DWDM, спектрального распределения каналов
Энергия фотона	E	$E = h \cdot f = (h \cdot c) / \lambda$	Расчёт мощности в фотонах, квантовый предел чувствительности приёмника
Параметры оптического волокна			
Затухание	α	$P_{out} = P_{in} - \alpha \cdot L$	Расчёт мощности, максимальной длины линии без ретрансляторов
Хроматическая дисперсия	D	$\Delta\tau = D \cdot L \cdot \Delta\lambda$	Оценка расширения импульса, выбор компенсаторов дисперсии, модуляции
Поляризационная модовая дисперсия	PMD	$\Delta\tau = PMD_{coeff} \cdot L$	Оценка искажения в высокочастотных системах (>10Гбит/с)





Параметр	Обозн.	Формула	Применение
Скорость передачи и модуляции			
Битовая скорость	Rb	—	Определение пропускной способности канала, выбор оборудования
Символьная скорость	Rs	$Rb = Rs \cdot \log_2(M)$	Проектирование трансиверов, согласование с АЦП/ЦАП, фильтрами
Уровень модуляции	M	—	Выбор схемы модуляции (ОК, РАМ4, QPSK, QAM) под скорость и OSNR
Спектральная эффективность	η	$\eta = Rb/BW$	Оптимизация использования спектра, сравнение эффективности модуляций
Ширина полосы	BW	$BW = Rs \cdot \frac{1 + \alpha}{2}$	Расчёт требуемой полосы усилителей, фильтров, мультиплексоров
Системные уравнения			
Мощность приемника	—	$P_{rx} = P_{tx} - \alpha \cdot L - \text{потери} - \text{запас}$	Проектирование линии: проверка, хватит ли мощности до приёмника
Чувствительность приёмника	P_{min}	—	Выбор приёмника, расчёт максимальной длины или минимального С/Ш
Динамический диапазон	—	$P_{sat} - P_{min}$	Обеспечение работы при разных уровнях сигнала (без перегрузки и потерь)

Внимание! Вы скачали Lite* версию Справочника Радиоинженера.
Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.



9. Термины и сокращения

Обозначения

АС - переменный ток

ADC (analog-to-digital converter), АЦП - аналого-цифровой преобразователь

АМ - сигнал с амплитудной модуляцией

См - сантиметр, одна сотая метра

dBm - дБ со ссылкой на 1 мВт

dBμA, дБмкА, со ссылкой на 1 мкА

dBμV, дБмкВ, со ссылкой на 1 мкВ

CRO – Cathode Ray Oscilloscope - электронно-лучевой осциллограф

DC - постоянный ток

DSO (Digital Storage Oscilloscope) – цифровой запоминающий осциллограф

E - составляющая электрического поля электромагнитного поля.

E/M - отношение электрического поля (E) к магнитному полю (H)

EMC - электромагнитная совместимость

EMI - электромагнитные помехи

FM – сигнал с частотной модуляцией

GHz - гигагерц, один миллиард Герц (1 000 000 000 Герц)

GNSS (Global Navigation Satellite System), ГНСС - глобальная навигационная спутниковая система

Hz – Герц, единица измерения частоты

I – электрический ток

kHz - килогерц, одна тысяча Герц (1000 Герц)

Low-noise amplifier, (МШУ) – малозумящий усилитель

λ – Лямбда, символ длины волны, расстояния, которое проходит волна за период времени, необходимый для одного полного цикла колебаний

MHz - мегагерц, один миллион Герц (1 000 000 Герц)

MSO (Mixed Signal Oscilloscope) - осциллограф смешанных сигналов

μm - микрометр, единица измерения длины, одна миллионная часть (0,000001) метра

m – метр, основная единица измерения длины в метрической системе

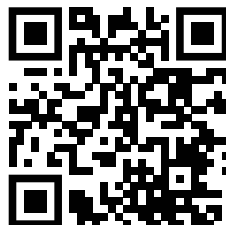
mil - единица измерения длины, одна тысячная (0,001) дюйма

Уважаемые коллеги!

Ваш опыт и мнение важны для совершенствования «Справочника радиоинженера». Пожалуйста, поделитесь вашими впечатлениями от первой версии и предложите доработки и идеи для новых разделов.

Заполнение анкеты займет не более двух минут. Напишите, что вам понравилось, а что хотелось бы изменить. Ваши рекомендации будут учтены авторами при подготовке следующего издания.

Спасибо за вашу обратную связь!



Для заметок

Внимание! Вы скачали Lite* версию Справочника Радиоинженера.

Чтобы получить полную версию, пожалуйста, пройдите простую регистрацию на нашем официальном сайте. После заполнения формы вам будет доступен Справочник в удобном формате — электронном или печатном.





Модернизация и технологическая поддержка предприятий радиоэлектронной промышленности



Санкт-Петербург

ул. Большая Монетная, д. 16
+7 (812) 702-12-66

Москва

Огородный проезд, д. 16/1
8 (800) 200-02-66



www.dipaul.ru
info@dipaul.ru

**RIGOL**www.rigol-rus.com

Цифровые осциллографы
Генераторы СВЧ сигналов
Генераторы сигналов произвольной формы
Анализаторы спектра

**ITECH**www.itech-rus.com

Программируемые источники питания и нагрузки
Измерители мощности
Источники измерители

**ЭМИКА**www.emika.tech

Автоматизация измерений и испытаний в:

- радиоэлектронике
- микроэлектронике
- автомобилестроении
- ЭМС

**METLAB**www.metlabs.ru

Управление процессом поверки по ГОСТ
Формирование протоколов измерений
Ведение электронных журналов

**ДИПОЛЬ**www.dipaul.ru

Радиоизмерительные решения высокой мощности

**VIKING**www.vkg.ru

Промышленная и антистатическая мебель
Шкафы сухого хранения
Антистатическое оснащение