

Электрическое сопротивление объекта является мерой его противодействия протеканию [электрического тока](#). Его [обратная](#) величина равна **электрическая проводимость**, измеряющая легкость, с которой проходит электрический ток. Электрическое сопротивление имеет некоторые концептуальные параллели с механическим [трением](#). Единицей электрического сопротивления в [СИ](#) является **Ом** (Ω), в то время как электрическая проводимость измеряется в [сименсах](#) (S) (ранее называлась "mho", а затем обозначалась \mathfrak{U}).

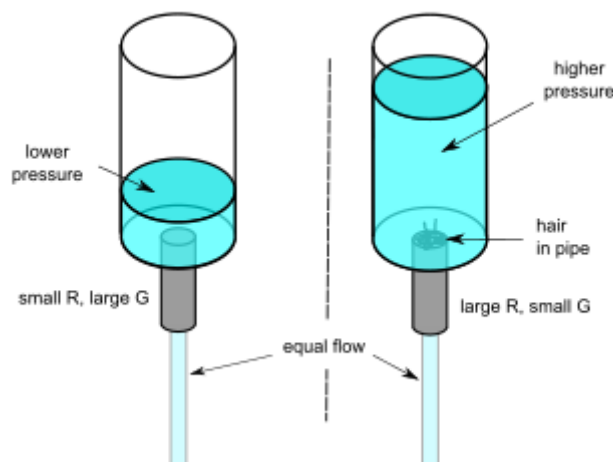
Сопротивление объекта в значительной степени зависит от материала, из которого он сделан. Объекты, изготовленные из [электрических изоляторов](#), таких как [резина](#), как правило, имеют очень высокое сопротивление и низкую проводимость, в то время как объекты, изготовленные из [электрических проводников](#), таких как металлы, как правило, имеют очень низкое сопротивление и высокую проводимость. Это соотношение определяется количественно с помощью [удельного сопротивления или проводимости](#). Однако природа материала - не единственный фактор, влияющий на сопротивление и проводимость; это также зависит от размера и формы объекта, поскольку эти свойства [обширны, а не интенсивны](#). Например, сопротивление провода выше, если оно длинное и тонкое, и ниже, если оно короткое и толстое. Все объекты сопротивляются электрическому току, за исключением [сверхпроводников](#), сопротивление которых равно нулю.

Сопротивление объекта R определяется как отношение [напряжения](#) V на нем к проходящему через него [току](#) I , в то время как проводимость G равна обратной:

$$R = \frac{V}{I}, \quad G = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$

Для широкого спектра материалов и условий V и I прямо пропорциональны друг другу, и поэтому R и G являются [константами](#) (хотя они будут зависеть от размера и формы объекта, материала, из которого он изготовлен, и других факторов, таких как температура или [деформация](#)). Эта пропорциональность называется [законом Ома](#), а материалы, которые ему удовлетворяют, называются *омическими* материалами.

В других случаях, таких как [трансформатор](#), [диод](#) или [аккумулятор](#), V и I не являются прямо пропорциональными. Соотношение $\frac{I}{V}$ иногда все еще полезно, и его называют *хордовым сопротивлением* или *статическим сопротивлением*,^{[1][2]} поскольку оно соответствует обратному наклону [хорды](#) между началом координат и [кривой](#) I – V . В других ситуациях наиболее полезной может быть [производная](#) $\frac{dV}{dI}$; это называется *дифференциальным сопротивлением*.



Гидравлическая аналогия сравнивает электрический ток, протекающий по цепям, с водой, текущей по трубам. Когда труба (слева) заполнена волосами (справа), требуется большее давление для достижения того же потока воды. Пропускание электрического тока через большое сопротивление подобно проталкиванию воды через трубу, забитую волосами: требуется больший толчок (**электродвижущая сила**), чтобы вызвать тот же поток (**электрический ток**).

В **гидравлической аналогии** ток, протекающий по проводу (или **резистору**), подобен воде, текущей по трубе, а **падение напряжения** на проводе подобно **падению давления**, которое выталкивает воду через трубу. Проводимость пропорциональна величине расхода при заданном давлении, а сопротивление пропорционально тому, какое давление требуется для достижения заданного расхода.

Падение напряжения (т. е. разница между напряжениями на одной стороне резистора и на другой), а не само **напряжение**, обеспечивает движущую силу, проталкивающую ток через резистор. В гидравлике это аналогично: разность давлений между двумя сторонами трубы, а не само давление, определяет поток через нее. Например, над трубой может быть большое давление воды, которое пытается протолкнуть воду вниз по трубе. Но под трубой может быть такое же большое давление воды, которое пытается протолкнуть воду обратно через трубу. Если эти давления равны, вода не течет. (На изображении справа давление воды под трубой равно нулю.)

Сопротивление и проводимость провода, резистора или другого элемента в основном определяются двумя свойствами:

- геометрия (форма), и
- материал

сопротивление (меньшую проводимость), чем короткий толстый медный провод.

Материалы также важны. Труба, заполненная волосами, ограничивает поток воды больше, чем чистая труба той же формы и размера. Аналогично, **электроны** могут свободно и легко проходить через **медный** провод, но не могут так же легко проходить через **стальной** провод той же формы и размера, и они, по существу, вообще не могут проходить через **изолятор**, такой как **резина**, независимо от его формы. Разница между медью, сталью и резиной связана с их микроскопической структурой и **электронной конфигурацией**, и количественно определяется свойством, называемым **удельным сопротивлением**.

В дополнение к геометрии и материалу, существуют различные другие факторы, которые влияют на сопротивление и проводимость, такие как температура; см. **ниже**.

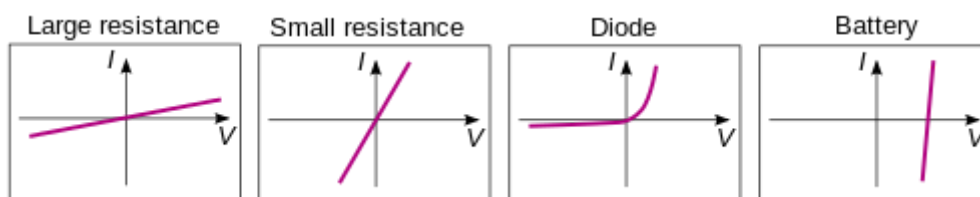
Проводники и резисторы



Резистор на 75 Ом, идентифицируемый по его **электронному цветовому коду** (фиолетово-зеленый-черный-золотисто-красный). Для проверки этого значения можно использовать **омметр**.

Вещества, по которым может протекать электричество, называются **проводниками**. Кусок проводящего материала с определенным сопротивлением, предназначенный для использования в цепи, называется **резистором**. Проводники изготавливаются из материалов с высокой **проводимостью**, таких как металлы, в частности медь и алюминий. Резисторы, с другой стороны, изготавливаются из широкого спектра материалов в зависимости от таких факторов, как желаемое сопротивление, количество энергии, которое оно должно рассеивать, точность и стоимость.

Закон Ома



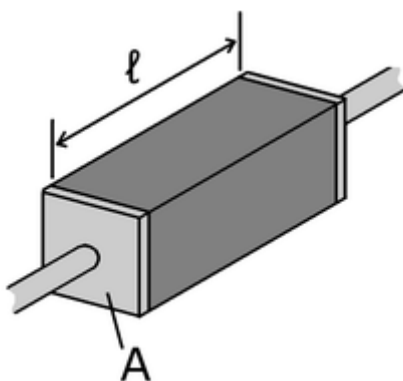
Вольтамперные характеристики четырех устройств: двух **резисторов**, **диода** и **батареи**. Горизонтальная ось представляет собой **падение напряжения**, вертикальная ось - **ток**. Закон Ома выполняется, когда график представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат. Следовательно, два резистора являются **омическими**, а диод и батарея - нет.

$$I \propto V$$

в широком диапазоне напряжений и токов. Следовательно, сопротивление и проводимость объектов или электронных компонентов, изготовленных из этих материалов, постоянны. Это соотношение называется [законом Ома](#), а материалы, которые ему подчиняются, называются *омическими* материалами. Примерами омических компонентов являются провода и [резисторы](#). [График тока–напряжения](#) омического устройства состоит из прямой линии, проходящей через начало координат с положительным [наклоном](#).

Другие компоненты и материалы, используемые в электронике, не подчиняются закону Ома; ток не пропорционален напряжению, поэтому сопротивление изменяется в зависимости от напряжения и проходящего через них тока. Они называются *нелинейными* или *неомическими*. Примерами могут служить [диоды](#) и [люминесцентные лампы](#). Кривая ток-напряжение неомного устройства представляет собой изогнутую линию.

Отношение к удельному сопротивлению и проводимости



Кусок резистивного материала с электрическими контактами на обоих концах.

Сопротивление данного объекта зависит в первую очередь от двух факторов: из какого материала он сделан и его формы. Для данного материала сопротивление обратно пропорционально площади поперечного сечения; например, толстый медный провод имеет меньшее сопротивление, чем идентичный в остальном тонкий медный провод. Кроме того, для данного материала сопротивление пропорционально длине; например, длинный медный провод имеет более высокое сопротивление, чем идентичный в остальном короткий медный провод. Следовательно, сопротивление R и проводимость G проводника одинакового поперечного сечения можно вычислить как

$$G = \sigma \frac{A}{\ell}.$$

где ℓ длина проводника, измеряемая в [метрах](#) (м), A - площадь поперечного сечения проводника, измеряемая в [квадратных метрах](#) (м²), σ ([сигма](#)) - это [электропроводность](#), измеряемая в [сименсах](#) на метр (С · м⁻¹), а ρ ([rho](#)) - это [электрическое сопротивление](#) (также называемое *удельным электрическим сопротивлением*) материала, измеряемое в ом-метрах (Ω·м). Удельное сопротивление и проводимость являются константами пропорциональности и, следовательно, зависят только от материала, из которого изготовлен провод, а не от геометрии провода. Удельное сопротивление и проводимость являются [обратными](#) величинами: $\rho = 1/\sigma$. Удельное сопротивление - это мера способности материала противостоять электрическому току.

Эта формула не является точной, поскольку предполагает, что [плотность тока](#) в проводнике полностью однородна, что не всегда верно в практических ситуациях. Однако эта формула все еще обеспечивает хорошее приближение для длинных тонких проводников, таких как провода.

Другая ситуация, для которой эта формула не является точной, касается [переменного тока](#) (АС), поскольку [скин-эффект](#) препятствует протеканию тока вблизи центра проводника. По этой причине *геометрическое* поперечное сечение отличается от *эффективного* поперечного сечения, в котором фактически протекает ток, поэтому сопротивление выше, чем ожидалось. Аналогично, если два проводника рядом друг с другом пропускают переменный ток, их сопротивления увеличиваются из-за [эффекта близости](#). На [коммерческой частоте питания](#) эти эффекты значительны для больших проводников, пропускающих большие токи, таких как [шинопроводы](#) на [электрической подстанции](#),^[3] или большие силовые кабели, пропускающие более нескольких сотен ампер.

Удельное сопротивление различных материалов варьируется на огромную величину: например, проводимость [тефлона](#) примерно в 10³⁰ раз ниже, чем проводимость меди. Грубо говоря, это потому, что металлы имеют большое количество "делокализованных" электронов, которые не застряли в каком-либо одном месте, поэтому они могут свободно перемещаться на большие расстояния. В изоляторе, таком как тефлон, каждый электрон прочно связан с одной молекулой, поэтому для его отрыва требуется большая сила. [Полупроводники](#) находятся между этими двумя крайностями. Более подробную информацию можно найти в статье: [Электрическое сопротивление и проводимость](#). В случае растворов [электролитов](#) смотрите статью: [Проводимость \(электролитическая\)](#).

Resistivity varies with temperature. In semiconductors, resistivity also changes when exposed to light. See [below](#).



An [ohmmeter](#)

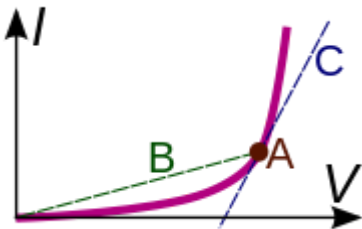
An instrument for measuring resistance is called an [ohmmeter](#). Simple ohmmeters cannot measure low resistances accurately because the resistance of their measuring leads causes a voltage drop that interferes with the measurement, so more accurate devices use [four-terminal sensing](#).

Типичные значения

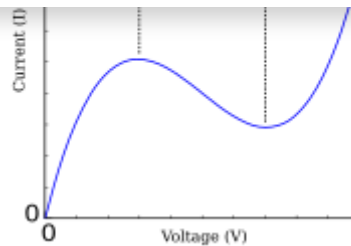
Typical resistance values for selected objects

Component	Resistance (Ω)
1 meter of copper wire with 1 mm diameter	0.02 ^[a]
1 km overhead power line (<i>typical</i>)	0.03 ^[5]
AA battery (<i>typical internal resistance</i>)	0.1 ^[b]
Incandescent light bulb filament (<i>typical</i>)	200–1000 ^[c]
Human body	1000–100,000 ^[d]

Статическое и дифференциальное сопротивление



inverse slope of line *B* through the origin. The **differential resistance** at *A* is the inverse slope of tangent line *C*.



The **current–voltage curve** of a component with **negative differential resistance**, an unusual phenomenon where the current–voltage curve is non-monotonic.

Many electrical elements, such as **diodes** and **batteries** do *not* satisfy **Ohm's law**. These are called *non-ohmic* or *non-linear*, and their **current–voltage curves** are *not* straight lines through the origin.

Resistance and conductance can still be defined for non-ohmic elements. However, unlike ohmic resistance, non-linear resistance is not constant but varies with the voltage or current through the device; i.e., its **operating point**. There are two types of resistance:^{[1][2]}

Static resistance

This corresponds to the usual definition of resistance; the voltage divided by the current

$$R_{\text{static}} = \frac{U}{I}.$$

It is the slope of the line (**chord**) from the origin through the point on the curve. Static resistance determines the power dissipation in an electrical component. Points on the current–voltage curve located in the 2nd or 4th quadrants, for which the slope of the chordal line is negative, have *negative static resistance*. **Passive** devices, which have no source of energy, cannot have negative static resistance. However active devices such as transistors or **op-amps** can synthesize negative static resistance with feedback, and it is used in some circuits such as **gyrators**.

Differential resistance

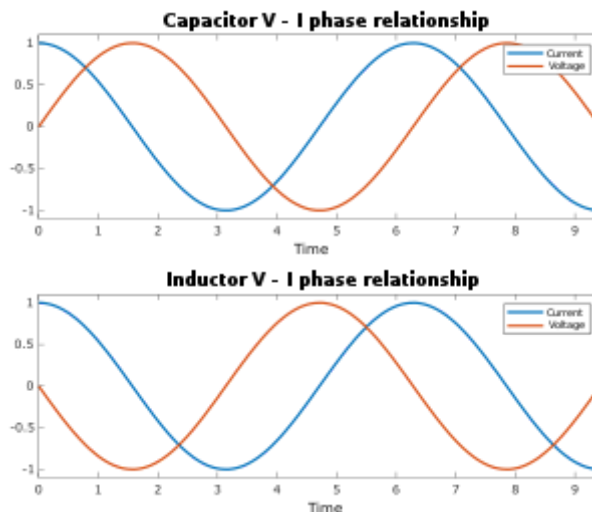
Differential resistance is the derivative of the voltage with respect to the current; the **slope** of the current–voltage curve at a point

$$R_{\text{diff}} = \frac{dU}{dI}.$$

If the current–voltage curve is nonmonotonic (with peaks and troughs), the curve has a negative slope in some regions—so in these regions the device has **negative differential resistance**. Devices with negative differential resistance can amplify a signal applied to them,

Цепи переменного тока

Impedance and admittance



The voltage (red) and current (blue) versus time (horizontal axis) for a [capacitor](#) (top) and [inductor](#) (bottom). Since the [amplitude](#) of the current and voltage [sinusoids](#) are the same, the [absolute value](#) of [impedance](#) is 1 for both the capacitor and the inductor (in whatever units the graph is using). On the other hand, the [phase difference](#) between current and voltage is -90° for the capacitor; therefore, the [complex phase](#) of the [impedance](#) of the capacitor is -90° . Similarly, the [phase difference](#) between current and voltage is $+90^\circ$ for the inductor; therefore, the complex phase of the impedance of the inductor is $+90^\circ$.

When an alternating current flows through a circuit, the relation between current and voltage across a circuit element is characterized not only by the ratio of their magnitudes, but also the difference in their [phases](#). For example, in an ideal [resistor](#), the moment when the voltage reaches its maximum, the current also reaches its maximum (current and voltage are oscillating in phase). But for a [capacitor](#) or [inductor](#), the maximum current flow occurs as the voltage passes through zero and vice versa (current and voltage are oscillating 90° out of phase, see image below). [Complex numbers](#) are used to keep track of both the phase and magnitude of current and voltage:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{U}{I} \\ Y &= \frac{1}{Z} = \frac{I}{U} \end{aligned}$$

where:

- t is time;
- $u(t)$ and $i(t)$ are the voltage and current as a function of time, respectively;
- U_0 and I_0 indicate the amplitude of the voltage and current, respectively;
- ω is the [angular frequency](#) of the AC current;
- φ is the displacement angle;
- U and I are the complex-valued voltage and current, respectively;
- Z and Y are the complex [impedance](#) and [admittance](#), respectively;
- \mathcal{R}_e indicates the [real part](#) of a [complex number](#); and
- $j \equiv \sqrt{-1}$ is the [imaginary unit](#).

The impedance and admittance may be expressed as complex numbers that can be broken into real and imaginary parts:

$$\begin{aligned} Z &= R + jX \\ Y &= G + jB. \end{aligned}$$

where R is resistance, G is conductance, X is [reactance](#), and B is [susceptance](#). These lead to the [complex number](#) identities

$$\begin{aligned} R &= \frac{G}{G^2 + B^2}, & X &= \frac{-B}{G^2 + B^2}, \\ G &= \frac{R}{R^2 + X^2}, & B &= \frac{-X}{R^2 + X^2}, \end{aligned}$$

which are true in all cases, whereas $R = 1/G$ is only true in the special cases of either DC or reactance-free current.

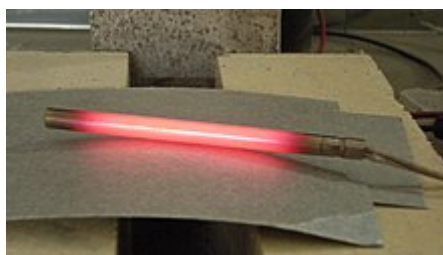
The [complex angle](#) $\theta = \arg(Z) = -\arg(Y)$ is the phase difference between the voltage and current passing through a component with impedance Z . For [capacitors](#) and [inductors](#), this angle is exactly -90° or $+90^\circ$, respectively, and X and B are nonzero. Ideal resistors have an angle of 0° , since X is zero (and hence B also), and Z and Y reduce to R and G respectively. In general, AC systems are designed to keep the phase angle close to 0° as much as possible, since it reduces the [reactive power](#), which does no useful work at a load. In a simple case with an inductive load (causing the phase to increase), a capacitor may be added for compensation at one frequency,

Y is the reciprocal of Z ($\mathbf{Z} = \mathbf{1}/\mathbf{Y}$) for all circuits, just as $\mathbf{R} = \mathbf{1}/\mathbf{G}$ for DC circuits containing only resistors, or AC circuits for which either the reactance or susceptance happens to be zero (X or $B = 0$, respectively) (if one is zero, then for realistic systems both must be zero).

Frequency dependence

A key feature of AC circuits is that the resistance and conductance can be frequency-dependent, a phenomenon known as the [universal dielectric response](#).^[8] One reason, mentioned above is the [skin effect](#) (and the related [proximity effect](#)). Another reason is that the resistivity itself may depend on frequency (see [Drude model](#), [deep-level traps](#), [resonant frequency](#), [Kramers–Kronig relations](#), etc.)

Рассеивание энергии и джоулев нагрев



Running current through a material with resistance creates heat, in a phenomenon called [Joule heating](#). In this picture, a [cartridge heater](#), warmed by Joule heating, is [glowing red hot](#).

Resistors (and other elements with resistance) oppose the flow of electric current; therefore, electrical energy is required to push current through the resistance. This electrical energy is dissipated, heating the resistor in the process. This is called [Joule heating](#) (after [James Prescott Joule](#)), also called *ohmic heating* or *resistive heating*.

The dissipation of electrical energy is often undesired, particularly in the case of [transmission losses](#) in [power lines](#). [High voltage transmission](#) helps reduce the losses by reducing the current for a given power.

On the other hand, Joule heating is sometimes useful, for example in [electric stoves](#) and other [electric heaters](#) (also called *resistive heaters*). As another example, [incandescent lamps](#) rely on Joule heating: the filament is heated to such a high temperature that it glows "white hot" with [thermal radiation](#) (also called [incandescence](#)).

where P is the [power](#) (energy per unit time) converted from electrical energy to thermal energy, R is the resistance, and I is the current through the resistor.

Зависимость от других условий

Temperature dependence

Near room temperature, the resistivity of metals typically increases as temperature is increased, while the resistivity of semiconductors typically decreases as temperature is increased. The resistivity of insulators and electrolytes may increase or decrease depending on the system. For the detailed behavior and explanation, see [Electrical resistivity and conductivity](#).

As a consequence, the resistance of wires, resistors, and other components often change with temperature. This effect may be undesired, causing an electronic circuit to malfunction at extreme temperatures. In some cases, however, the effect is put to good use. When temperature-dependent resistance of a component is used purposefully, the component is called a [resistance thermometer](#) or [thermistor](#). (A resistance thermometer is made of metal, usually platinum, while a thermistor is made of ceramic or polymer.)

Resistance thermometers and thermistors are generally used in two ways. First, they can be used as [thermometers](#): by measuring the resistance, the temperature of the environment can be inferred. Second, they can be used in conjunction with [Joule heating](#) (also called self-heating): if a large current is running through the resistor, the resistor's temperature rises and therefore its resistance changes. Therefore, these components can be used in a circuit-protection role similar to [fuses](#), or for [feedback](#) in circuits, or for many other purposes. In general, self-heating can turn a resistor into a [nonlinear](#) and [hysteretic](#) circuit element. For more details see [Thermistor#Self-heating effects](#).

If the temperature T does not vary too much, a [linear approximation](#) is typically used:

$$R(T) = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

where α is called the *temperature coefficient of resistance*, T_0 is a fixed reference temperature (usually room temperature), and R_0 is the resistance at temperature T_0 . The parameter α is an empirical parameter fitted from measurement data. Because the linear approximation is only an approximation, α is different for different reference temperatures. For this reason it is usual to specify the temperature that α was measured at with a suffix, such as α_{15} , and the relationship only holds in a range of temperatures around the reference.^[9]

magnitude.^[e]

Strain dependence

Just as the resistance of a conductor depends upon temperature, the resistance of a conductor depends upon [strain](#).^[10] By placing a conductor under [tension](#) (a form of [stress](#) that leads to strain in the form of stretching of the conductor), the length of the section of conductor under tension increases and its cross-sectional area decreases. Both these effects contribute to increasing the resistance of the strained section of conductor. Under [compression](#) (strain in the opposite direction), the resistance of the strained section of conductor decreases. See the discussion on [strain gauges](#) for details about devices constructed to take advantage of this effect.

Light illumination dependence

Some resistors, particularly those made from [semiconductors](#), exhibit [photoconductivity](#), meaning that their resistance changes when light is shining on them. Therefore, they are called [photoresistors](#) (or *light dependent resistors*). These are a common type of [light detector](#).

Сверхпроводимость

[Superconductors](#) are materials that have exactly zero resistance and infinite conductance, because they can have $V = 0$ and $I \neq 0$. This also means there is no [joule heating](#), or in other words no [dissipation](#) of electrical energy. Therefore, if superconductive wire is made into a closed loop, current flows around the loop forever. Superconductors require cooling to temperatures near 4 K with [liquid helium](#) for most metallic superconductors like [niobium–tin](#) alloys, or cooling to temperatures near 77 K with [liquid nitrogen](#) for the expensive, brittle and delicate ceramic [high temperature superconductors](#). Nevertheless, there are many [technological applications of superconductivity](#), including [superconducting magnets](#).

Смотрите также



- [Conductance quantum](#)
 - [Von Klitzing constant](#) (its reciprocal)
- [Electrical measurements](#)
- [Contact resistance](#)

- [Johnson–Nyquist noise](#)
- [Quantum Hall effect](#), a standard for high-accuracy resistance measurements.
- [Resistor](#)
- [RKM code](#)
- [Series and parallel circuits](#)
- [Sheet resistance](#)
- [SI electromagnetism units](#)
- [Thermal resistance](#)
- [Voltage divider](#)
- [Voltage drop](#)

Примечания

- The resistivity of copper is about $1.7 \times 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$.^[4]
- For a fresh Energizer E91 AA alkaline battery, the internal resistance varies from $0.9 \, \Omega$ at $-40 \, ^\circ\text{C}$, to $0.1 \, \Omega$ at $+40 \, ^\circ\text{C}$.^[6]
- A 60 W light bulb (in the USA, with 120 V [mains electricity](#)) draws RMS current $\frac{60 \, \text{W}}{120 \, \text{V}} = 500 \, \text{mA}$, so its resistance is $\frac{120 \, \text{V}}{500 \, \text{mA}} = 240 \, \Omega$. The resistance of a 60 W light bulb in Europe (230 V mains) is $900 \, \Omega$. The resistance of a filament is temperature-dependent; these values are for when the filament is already heated up and the light is already glowing.
- $100 \, \text{k}\Omega$ for dry skin contact, $1 \, \text{k}\Omega$ for wet or broken skin contact. High voltage breaks down the skin, lowering resistance to $500 \, \Omega$. Other factors and conditions are relevant as well. For more details, see the [electric shock](#) article, and NIOSH 98-131.^[7]
- See [Electrical resistivity and conductivity](#) for a table. The temperature coefficient of resistivity is similar but not identical to the temperature coefficient of resistance. The small difference is due to [thermal expansion](#) changing the dimensions of the resistor.

Ссылки

- Brown, Forbes T. (2006). *Engineering System Dynamics: A Unified Graph-Centered Approach* (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/books.google.com/books?id=UzqX4j9VZWcC) (2nd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press. p. 43. ISBN 978-0-8493-9648-9.

20ASroBIEC) . Boca Raton, Florida: CRC Press. pp. 13–52. ISBN 978-0-8493-2087-3.

3. Fink & Beaty (1923). "Standard Handbook for Electrical Engineers". *Nature* (11th ed.). **111** (2788): 17–19. Bibcode:1923Natur.111..458R (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/ui.adsabs.harvard.edu/abs/1923Natur.111..458R) . doi:10.1038/111458a0 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/doi.org/10.1038%2F111458a0) . hdl:2027/mdp.39015065357108 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/hdl.handle.net/2027%2Fmdp.39015065357108) . S2CID 26358546 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/api.semanticscholar.org/CorpusID:26358546) .
4. Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. (1992). *Physics* (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/archive.org/details/physics00cutn/mode/2up) (2nd ed.). New York: Wiley. p. 559. ISBN 978-0-471-52919-4.
5. McDonald, John D. (2016). *Electric Power Substations Engineering* (2nd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press. pp. 363ff. ISBN 978-1-4200-0731-2.
6. Battery internal resistance (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/data.energizer.com/PDFs/BatteryIR.pdf) (PDF) (Report). Energizer Corp.
7. "Worker Deaths by Electrocution" (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/www.cdc.gov/niosh/docs/98-131/pdfs/98-131.pdf) (PDF). National Institute for Occupational Safety and Health. Publication No. 98-131. Retrieved 2 November 2014.
8. Zhai, Chongpu; Gan, Yixiang; Hanaor, Dorian; Proust, Gwénaëlle (2018). "Stress-dependent electrical transport and its universal scaling in granular materials". *Extreme Mechanics Letters*. **22**: 83–88. arXiv:1712.05938 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/arxiv.org/abs/1712.05938) . doi:10.1016/j.eml.2018.05.005 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/doi.org/10.1016%2Fj.eml.2018.05.005) . S2CID 51912472 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/api.semanticscholar.org/CorpusID:51912472) .
9. Ward, M.R. (1971). *Electrical Engineering Science*. McGraw-Hill. pp. 36–40.
10. Meyer, Sebastian; et al. (2022), "Characterization of the deformation state of magnesium by electrical resistance", *Volume 215*, Scripta Materialia, vol. 215, p. 114712, doi:10.1016/j.scriptamat.2022.114712 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/doi.org/10.1016%2Fj.scriptamat.2022.114712) , S2CID 247959452 (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/api.semanticscholar.org/CorpusID:247959452)



Wikimedia Commons has media related to ***Electrical resistance and conductance***.

- "Resistance calculator" (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/https/web.archive.org/web/20100711132344/http://www.cvel.clemson.edu/emc/calculators/Resistance_Calculator/index.html) . Vehicular Electronics Laboratory. Clemson University. Archived from the original (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/www.cvel.clemson.edu/emc/calculators/Resistance_Calculator/index.html) on 11 July 2010.
- "Electron conductance models using maximal entropy random walks" (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b9de015-645b4beb-ed10b6c7-74722d776562/demonstrations.wolfram.com/ElectronConductanceModelsUsingMaximalEntropyRandomWalks/) . *wolfram.com*. Wolfram Demonstrations Project.