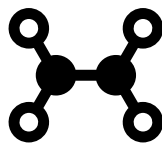




ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ ТРЕТЬЕ ЗАНЯТИЕ



ВАХ.....	3
Что такое вольт-амперная характеристика	3
Виды.....	5
ВАХ светодиодов	6
Основные аспекты питания светодиода.....	8
Подключение светодиодов.....	9
Расчет резистора для одного светодиода.....	9
Расчет резистора для последовательного подключения	10
Расчет резистора для параллельно-последовательного подключения.....	11
ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ.....	12
Пример расчета	14
Применимость.....	15
Мост Уитстона.....	16
Принцип работы	17
Расчет	18
РЕЗИСТОРНО-КОНДЕНСАТОРНЫЕ ЦЕПИ	20
Время заряда конденсатора	20
Интегрирующая RC-цепь	22
Дифференцирующая RC-цепь	23
Применение.....	24



ВАХ

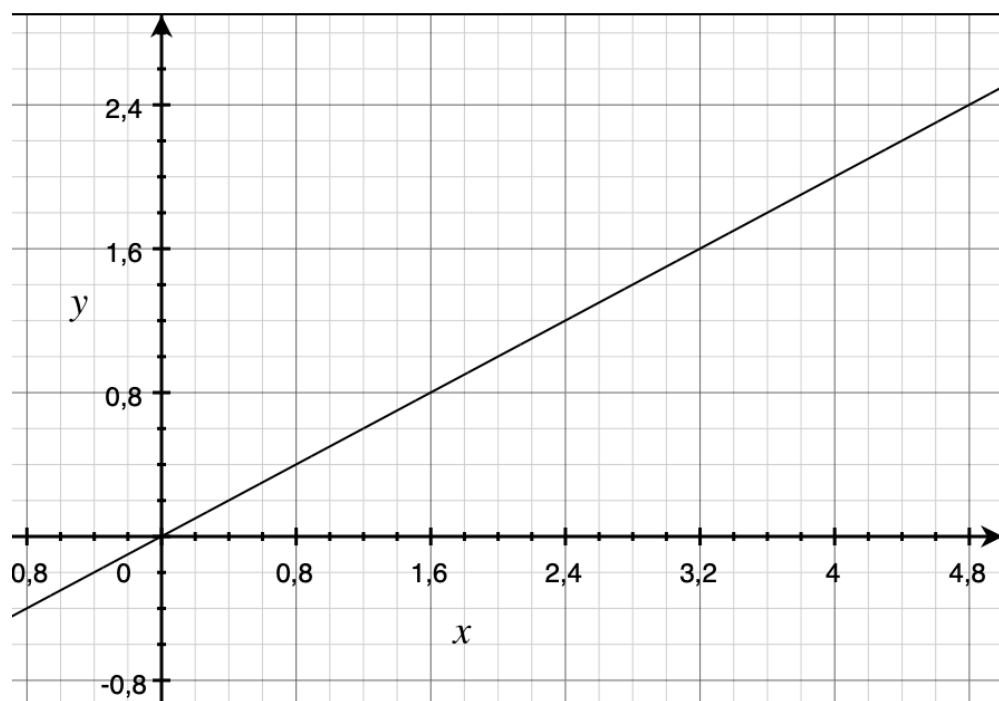
ЧТО ТАКОЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) - это важное понятие в электронике и электротехнике, которое описывает зависимость между напряжением и током в электрической цепи. Эта характеристика является фундаментальной для понимания поведения различных электронных компонентов, а также оценки их работоспособности и эффективности. Вольт-амперная характеристика охватывает широкий спектр устройств - от резисторов и диодов до транзисторов и даже полупроводниковых приборов.

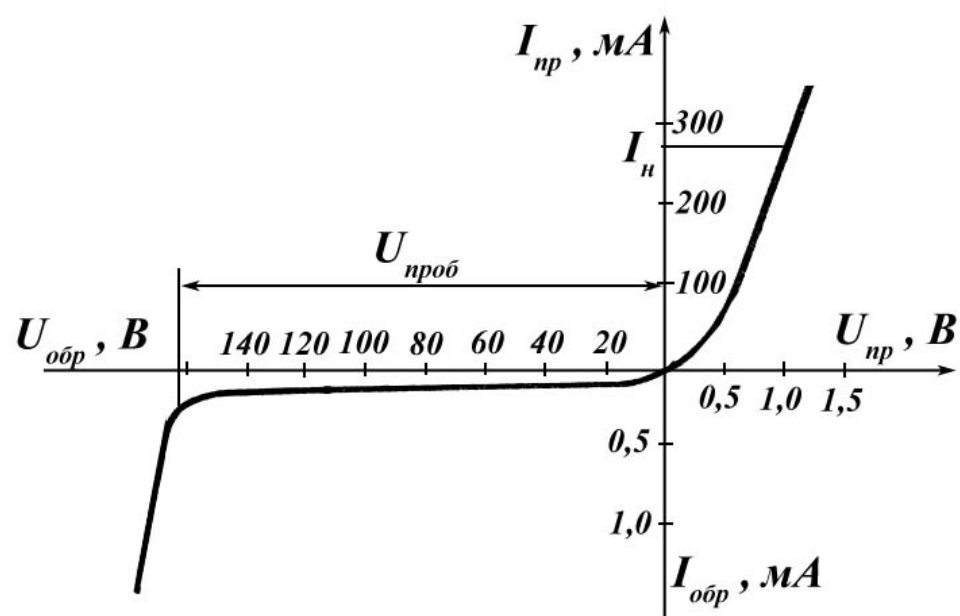
Суть ВАХ заключается в том, что она позволяет проанализировать, как изменение напряжения влияет на ток в электрической цепи и наоборот. Каждый компонент имеет свою уникальную ВАХ, которая может быть разной в разных режимах работы.

Для построения ВАХ, необходимо измерять зависимость тока от напряжения при постоянных значениях других параметров. Обычно для этого используется специальное оборудование, например, источник постоянного тока (DC source) и амперметр (амперметры - это приборы для измерения тока). Подключив приборы к тестируемому компоненту, можно пошагово изменять напряжение и измерять соответствующий ток. Повторяя эту процедуру для разных значений напряжения, можно построить график, который отобразит зависимость тока от напряжения.

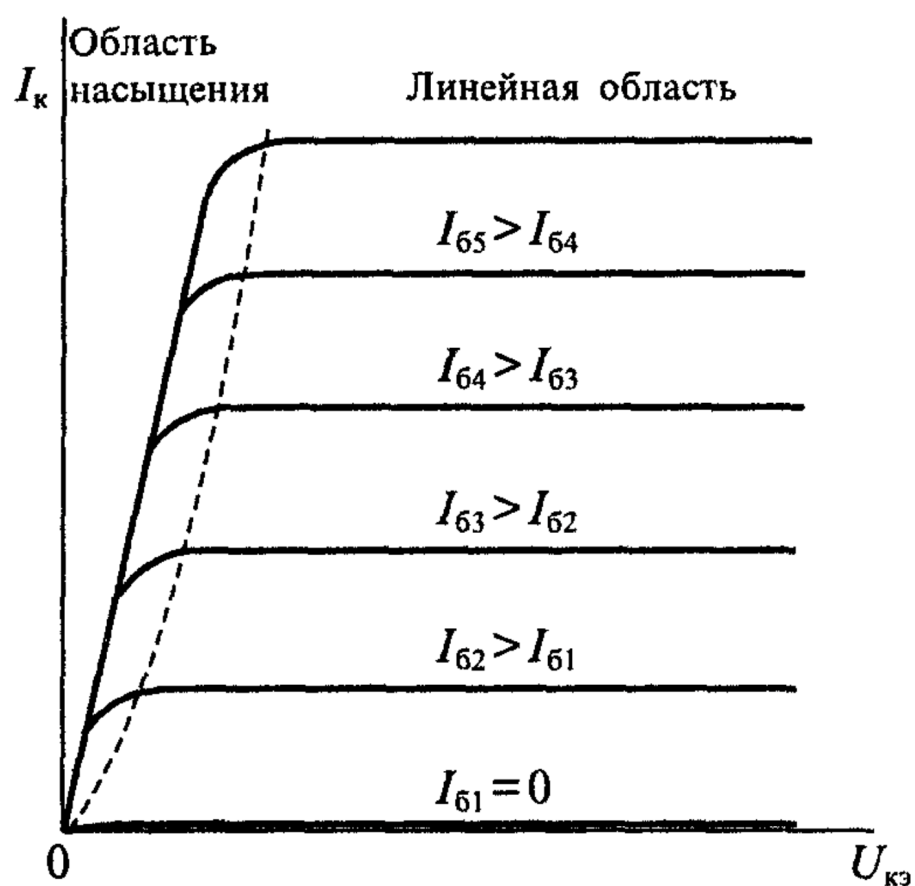
Можно выделить основные типы вольт-амперных характеристик- это линейные и нелинейные. Чаще всего интерес представляют именно нелинейные ВАХ, либо семейство кривых в случае транзисторов, например. Так как линейные ВАХ особого интереса не представляют, из-за того, что выглядят, как прямая. Это свойственно резисторам. При изменении напряжения ток также меняется пропорционально, согласно закону Ома ($U=IR$). А вот нелинейные ВАХ типичны для диодов. При прямом напряжении (когда анод диода положителен по отношению к катоду) ток протекает величины, определяемой внутренними характеристиками диода. При обратном напряжении (когда анод отрицателен по отношению к катоду) ток практически отсутствует. Так же характерно для транзисторов. В зависимости от режима работы (активный, насыщение, обрыв) транзистора, его ВАХ может иметь разные участки с различным наклоном.



Пример линейной ВАХ (резистор)



Пример ВАХ выпрямительного диода



Пример семейства ВАХ для транзистора

ВИДЫ

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) резистора является простой и линейной. Резистор - это пассивный электронный компонент, который создает определенное сопротивление току в электрической цепи. ВАХ резистора иллюстрирует взаимосвязь между напряжением, приложенным к резистору, и текущим через него током.

ВАХ резистора характеризуется прямой пропорциональной зависимостью между напряжением и током, согласно закону Ома: $U = IR$, где U - напряжение на резисторе, I - ток через резистор, R - его сопротивление.

Когда напряжение на резисторе увеличивается, ток через него также увеличивается, и наоборот. Это означает, что в графическом представлении ВАХ резистора будет получена прямая линия, начинающаяся в начале координат (напряжение равно нулю при отсутствии тока) и протягивающаяся вверх с наклоном, определяемым значением сопротивления R .

Таким образом, вольт-амперная характеристика резистора - это прямая линия, проходящая через начало координат, где напряжение и ток пропорциональны друг другу. Эта простая и линейная зависимость делает резисторы одним из основных и понятных элементов в электронных схемах.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода представляет собой графическое описание зависимости между напряжением, приложенным к диоду, и током, протекающим через него. ВАХ диода имеет характерные особенности, которые отражают его уникальное поведение в электрической цепи.

1. Прямая ветвь:

При прямом напряжении на диоде (когда анод положителен по отношению к катоду), диод начинает проводить ток. В этом режиме напряжение преодолевает потенциальный барьер между полупроводниковыми слоями диода, и ток начинает протекать. Начальное прямое напряжение, при котором диод начинает проводить ток, называется "пороговым напряжением" или "напряжением пробоя" диода. Прямая ВАХ диода характеризуется быстрым ростом тока с ростом напряжения и практически линейной зависимостью.

2. Обратная ветвь:

При обратном напряжении (когда анод отрицателен по отношению к катоду), диод оказывается в состоянии обратного смещения. В этом режиме диод ведет себя как непроводящий элемент, и ток через него практически отсутствует. Тем не менее, при достижении определенного напряжения, называемого "напряжением обратного пробоя", диод может перейти в состояние пробоя и начать проводить ток в обратном направлении.

Зависимость тока от напряжения на ВАХ диода нелинейна и обусловлена физическими процессами в полупроводниковом материале. ВАХ диода важна для понимания его

режимов работы - прямого и обратного, и для правильного применения в различных электронных схемах.

Семейство вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзистора - это набор ВАХ, отражающих зависимость тока коллектора (или стока в случае полевых транзисторов) от напряжения базы (или затвора). Эти характеристики различаются в зависимости от текущих условий работы транзистора и его режимов. Обычно в документации выглядит, как набор кривых на графике для различных ситуаций.

ВАХ СВЕТОДИОДОВ

Светодиод (LED, от англ. Light Emitting Diode) представляет собой электронный прибор, который способен преобразовывать электрическую энергию в световую. Это технологический и инновационный элемент, который стал неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, играя важную роль в освещении, индикации, дисплеях и различных электронных устройствах. Основан на эффекте электролюминесценции, светодиоды широко используются в современных технологиях благодаря своей эффективности, долговечности и разнообразию цветовых вариаций.

Преимущество светодиодов заключается в их высокой эффективности преобразования энергии. Они работают с меньшим энергопотреблением по сравнению с традиционными источниками света, такими как галогенные лампы или лампочки накаливания. Это позволяет экономить электроэнергию и снизить эмиссию углекислого газа, способствуя экологической устойчивости.

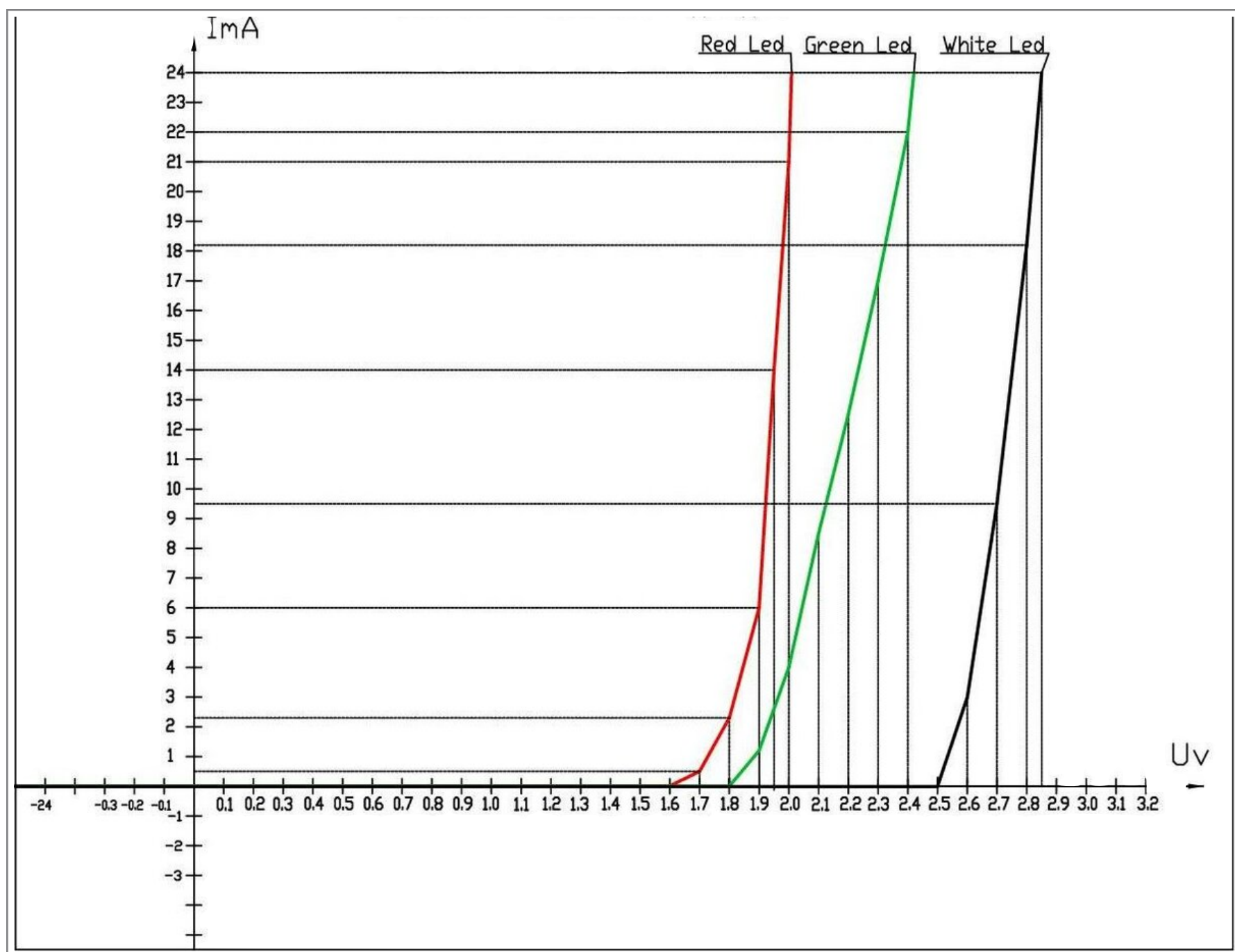
Светодиоды также известны своей долговечностью. Они имеют значительно больший срок службы по сравнению с традиционными источниками света, что уменьшает затраты на замену и обслуживание. Более того, светодиоды обладают высокой стойкостью к внешним факторам, таким как вибрации и удары, что делает их привлекательными для использования в различных условиях.

Важной характеристикой светодиодов является их способность создавать свет различных цветов. Это достигается путем применения различных материалов в составе полупроводниковых слоев. Разнообразие цветовых вариаций позволяет использовать светодиоды для разных целей, включая декоративное освещение, индикацию статусов и даже создание полноцветных дисплеев.

Одной из революционных областей применения светодиодов стало освещение. Светодиодные лампы и светильники предоставляют эффективное и яркое освещение при значительно меньшем энергопотреблении. Они также позволяют создавать различные оттенки света и регулировать яркость, что делает их удобными для использования в домашних условиях, офисах и общественных местах.

Технология светодиодов продолжает развиваться, приводя к созданию более эффективных, ярких и функциональных источников света. В современном мире они олицетворяют собой инновации, внедряясь в различные области нашей жизни и улучшая ее качество.

Мы знаем, что есть светодиоды различного цвета свечения, связано это с тем, что для разного свечения светодиодов используются в производстве разные типы полупроводников.



ВАХ трех различных светодиодов

Если посмотреть на этот сводный график, то можно заметить тот факт, что свечение светодиодов начинается от разного напряжения.

Питание светодиода - это важный аспект его работы, который оказывает влияние на его производительность, яркость и долговечность. Светодиоды являются чувствительными к напряжению устройствами, поэтому правильное питание играет ключевую роль в обеспечении их оптимальной работы.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДА

Напряжение питания (U_f):

Каждый тип светодиода имеет свое характерное напряжение пробоя, которое необходимо для начала преобразования электрической энергии в свет. Это напряжение может быть различным для разных цветов светодиодов и варьироваться в диапазоне от 1.8 до 3.5 вольт. Например, красные светодиоды обычно имеют ниже напряжение пробоя, чем синие или белые светодиоды.

Ток прямого напряжения (I_f):

Для обеспечения надлежащей яркости и долговечности светодиода необходимо контролировать ток, который протекает через него в прямом направлении. Указание на оптимальный ток обычно содержится в технических характеристиках светодиода. Превышение этого тока может привести к перегреву и сокращению срока службы светодиода.

Сопротивление ограничения тока (R):

Часто для ограничения тока через светодиод используется внешний резистор. Величина этого сопротивления рассчитывается с учетом разницы между напряжением питания и напряжением пробоя светодиода, а также желаемого тока через него. Он предотвращает слишком большой ток, который может повредить светодиод.

Точность питания:

Светодиоды являются чувствительными к изменениям напряжения и тока. Поэтому стабильное и точное питание важно для поддержания постоянной яркости и надлежащей работы. Использование стабилизированных источников питания может предотвратить колебания напряжения и сохранить стабильные условия работы светодиодов.

Температурные условия:

Температура окружающей среды также влияет на работу светодиода. Высокие температуры могут привести к снижению его эффективности и долговечности. Некоторые светодиоды требуют дополнительного охлаждения, особенно при высоких токах или яркостях.

Импульсное питание:

В некоторых случаях, например, при использовании светодиодов в светодиодных матрицах или светодиодных дисплеях, применяется импульсное питание. Это позволяет управлять яркостью светодиодов путем изменения длительности импульсов и частоты их повторения.

Правильное питание светодиодов обеспечивает их надлежащую работу, долговечность и эффективность. Оно должно быть адаптировано к конкретным техническим характеристикам светодиодов и требованиям конкретного применения, чтобы достичь оптимальных результатов.

В целом стоит достичь понимания, что светодиоды питаются током, а не напряжением.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ

РАСЧЕТ РЕЗИСТОРА ДЛЯ ОДНОГО СВЕТОДИОДА

Требуется подключить светодиод белого свечения к источнику питания напряжением 5 Вольт.

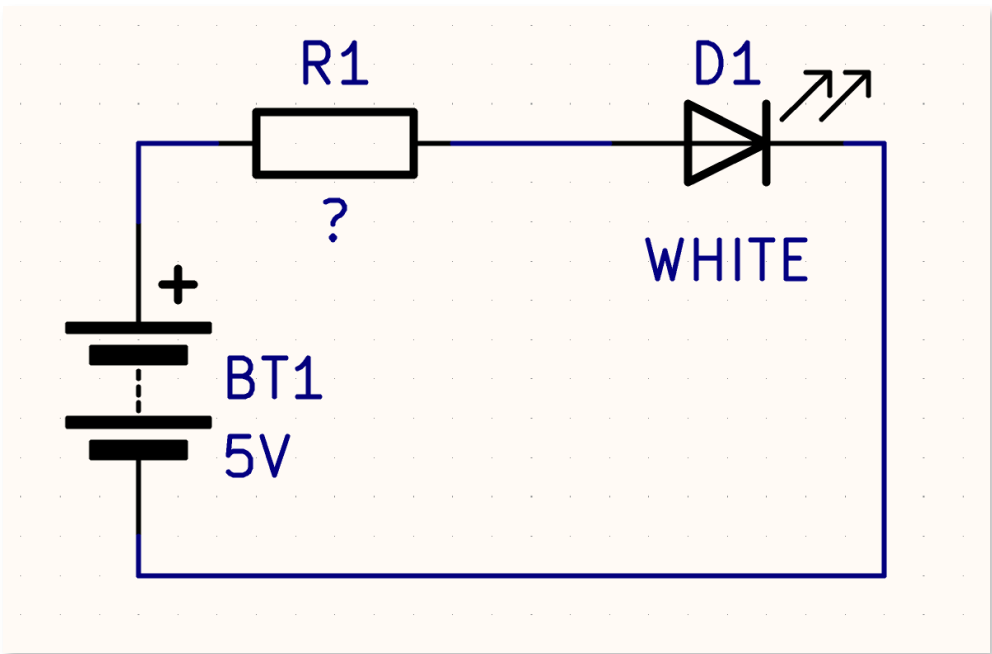


Схема подключения

Требуемые данные для расчета из даташита White_LED_5mm.pdf:

正向电压 Forward Voltage	3.0-3.2	3.0-3.2	3.2-3.4	3.2-3.4	3.0-3.2			V
连续工作电流 Continuous Forward Current	IL				20			mA

Откуда имеем падение напряжения при рабочем токе $I_f=20\text{mA}$ в среднем 3,2В. Если на D1 будет происходить падение напряжения 3.2 Вольт, то на R1 должен упасть остаток - $5 - 3.2 = 1.8$ Вольт. Номинальный ток светодиода составляет 20 мА (0,02 А).

Сопротивление, на котором должно упасть 1,8 В при заданном токе:

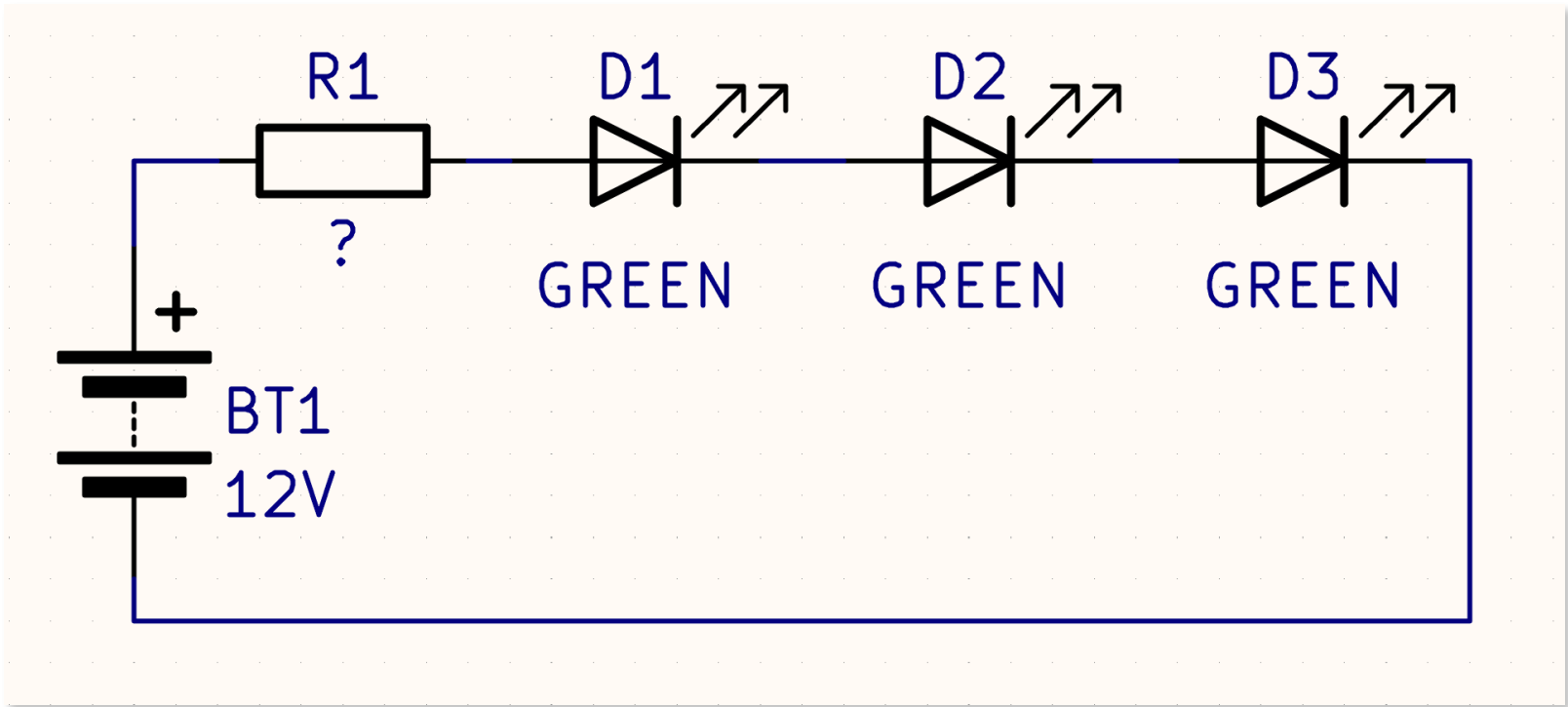
$R1 = U/I = 1,8/0,02 = 90 \text{ Ом}$, ближайшее значение в большую из стандартного ряда E24 91 Ом.

Мощность рассеивания на резисторе:

$$P = 1,8V * 0,02A = 0,04 \text{ Вт (40 мВт)}$$

РАСЧЕТ РЕЗИСТОРА ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Требуется подключить 3 светодиода зеленого свечения к источнику питания напряжением 12 Вольт.



Требуемые данные для расчета из даташита Green_Yellow_LED_5mm.pdf:

Electrical/Optical Characteristics at T_a = 25°C

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	IV	7/7	15/14	23/22	mcd	IF = 20mA
Viewing Angle	2θ 1/2	-	45	-	degrees	
Peak Emission Wavelength	λP	-	587/568	-	nm	-
Dominant Wavelength	λD	-	590/570	-		-
Spectral Line Half-Width	Δλ	-	35/30	-		-
Forward Voltage	VF	1.7/1.7	2.1/2.1	2.6/2.6	V	IF = 20mA
Power Dissipation	Pd	-	-	85	-	-
Peak Forward Current (Duty 1/10 at 1KHz)	IF (Peak)	-	-	100	-	-
Recommended Operating Current	IF (Rec)	-	20	-	mA	-

Из документации прямое напряжение на каждом примем среднее 2.1 В, рабочий ток - 20 мА. Вычислим сопротивление для резистора R1:

$$R1 = (U - (U_{led1} + U_{led2} + U_{led3})) / I_{led} = (12 - (2.1 + 2.1 + 2.1)) / 0.02 = 285 \text{ Ом}$$

где:

- U - напряжения питания, В;
- $U_{led1} + U_{led2} + U_{led3}$ - прямое падение напряжения на светодиодах, В;
- I_{led} - рабочий ток светодиода, А.

Минимальная мощность резистора:

$$P = 12V - (2,1V + 2,1V + 2,1V) * 0,02A = 0,114 \text{ Вт (114 мВт)}$$

РАСЧЕТ РЕЗИСТОРА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Требуется подключить 20 зеленых светодиодов к источнику питания напряжением 12 Вольт.

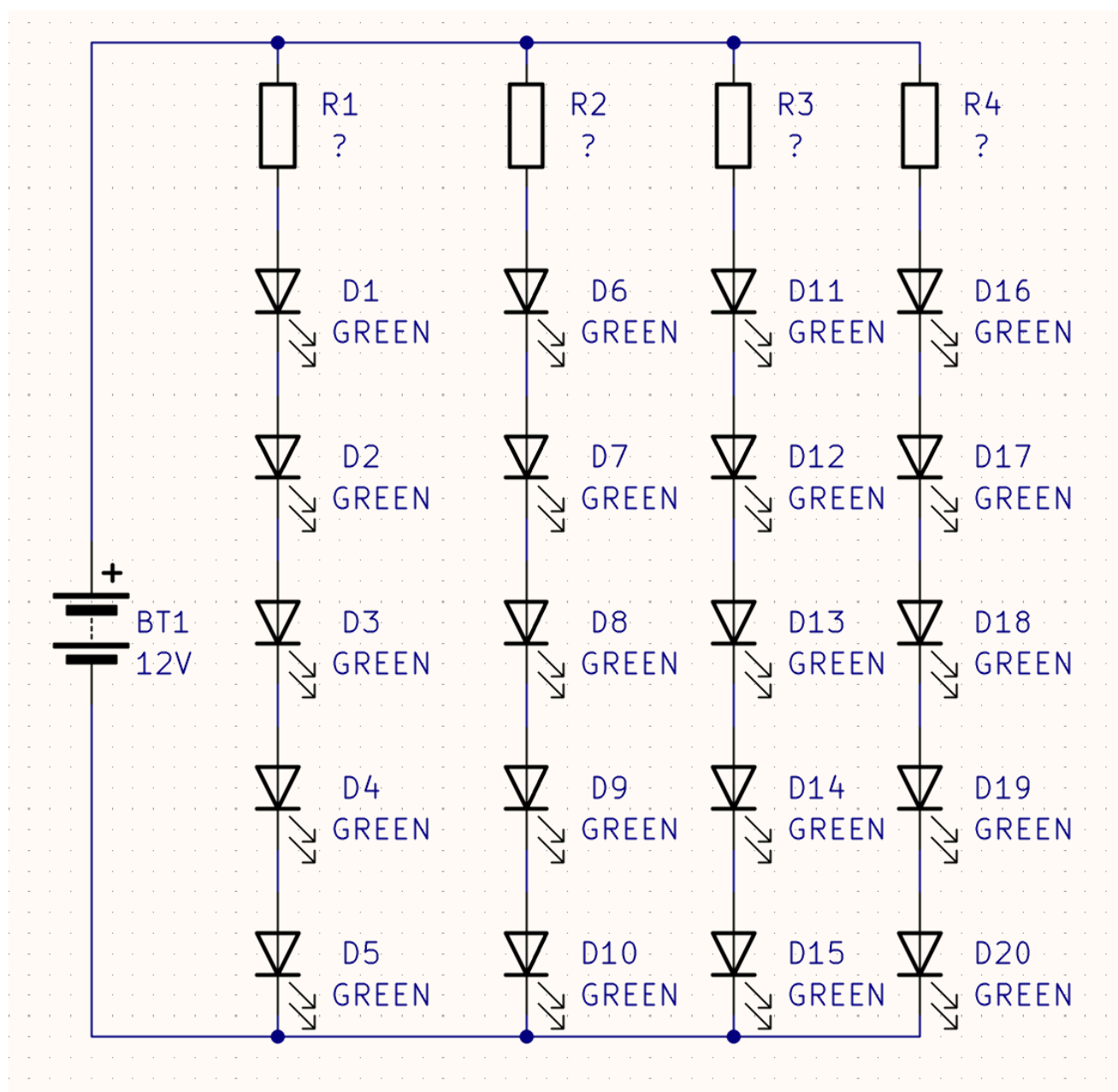


Схема подключения

Все 20 светодиодов последовательно подключить не получится, так как не хватит напряжения на источнике питания. Следовательно подключение разбивается на звенья, для звена рассчитывается сопротивление токоограничительного резистора из примера выше и выполняется параллельное подключение требуемого количества

последовательных звеньев к источнику питания. Характерным примером данного типа подключения является обычная светодиодная лента, где вся длина поделена на сегменты из трех светодиодов и токоограничительного резистора для каждого звена.

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Делитель напряжения - это электрическая схема, используемая для разделения входного напряжения на две или более части с различными пропорциями. Он состоит из последовательно соединенных резисторов, которые создают параллельные пути для тока. Делители напряжения широко используются в электронике для получения желаемых уровней напряжения, регулирования сигналов и обеспечения нужных входных значений для различных компонентов в схеме.

Принцип работы делителя напряжения основан на законе Ома, который утверждает, что напряжение (U) между двумя точками в электрической цепи пропорционально току (I), проходящему через эту цепь, и сопротивлению (R) между этими точками: $U = I * R$. Если в цепи присутствуют два резистора ($R1$ и $R2$), подключенных последовательно, то общее напряжение будет разделено между ними пропорционально их сопротивлениям.

Давайте рассмотрим принцип работы делителя напряжения на примере. Пусть у нас есть источник напряжения U_{in} и два резистора $R1$ и $R2$, подключенные последовательно между точками A и B. По закону Ома, напряжение на каждом резисторе определяется как произведение тока, протекающего через резистор, на его сопротивление:

$$U_{R1} = I * R1$$

$$U_{R2} = I * R2.$$

Общий ток в цепи (I) определяется как отношение напряжения U_{in} к общему сопротивлению (R_{total}) цепи:

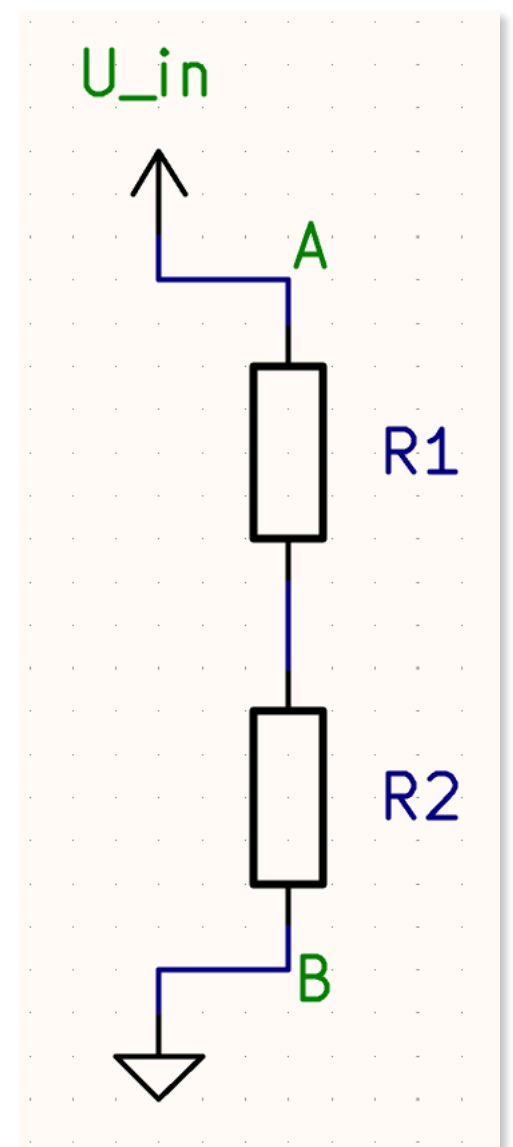
$$I = U_{in} / R_{total}, \text{ где } R_{total} = R1 + R2.$$

Подставив выражение для тока в уравнения напряжения на резисторах, получаем:

$$U_{R1} = U_{in} * (R1 / R_{total})$$

$$U_{R2} = U_{in} * (R2 / R_{total})$$

Таким образом, напряжение на резисторе $R1$ (U_{R1}) будет составлять определенную часть от общего входного напряжения U_{in} в соответствии с их относительными



сопротивлениями. Это позволяет контролировать выходное напряжение путем изменения значений резисторов $R1$ и $R2$.

Делители напряжения находят широкое применение в различных сферах электроники. Они используются для снижения уровня напряжения до желаемого значения для входа в аналоговые и цифровые компоненты, такие как микроконтроллеры, операционные усилители, аналоговые-цифровые преобразователи и другие. Также делители напряжения используются для создания опорных напряжений, настройки чувствительности сенсоров, адаптации сигналов и во многих других схемотехнических решениях.

Данные условия являются идеальными, в реальности существуют некоторые моменты, которые влияют на точность и стабильность выходного напряжения. Один из таких моментов - это подключение нагрузки, которая может изменять общее сопротивление цепи и, следовательно, влиять на деление напряжения.

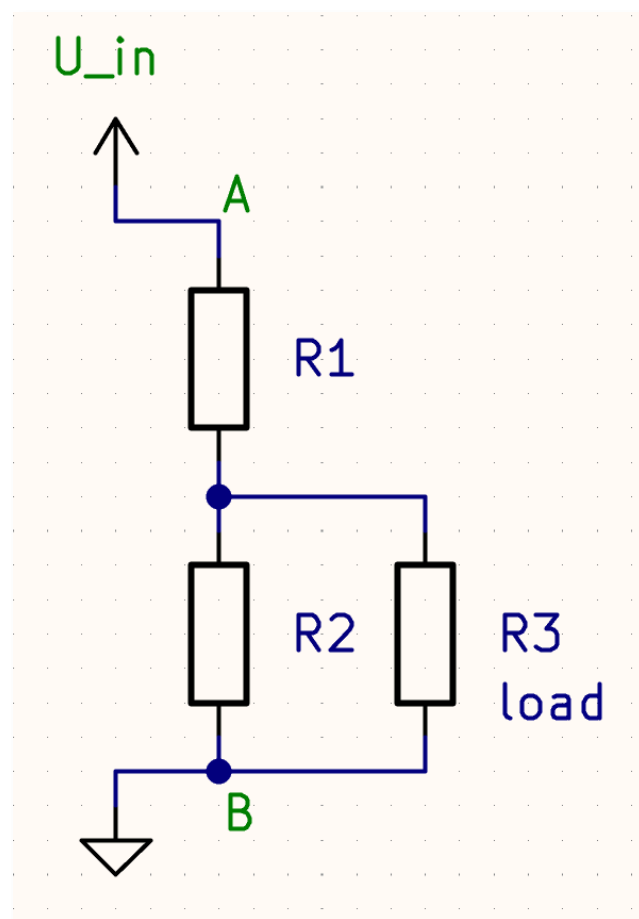
Классически, требуемое напряжение снимается с нижнего плеча делителя, то есть в нашем случае с $R2$. При подключении нагрузки параллельно $R2$ произойдет дополнительное падение напряжения, которое негативно повлияет на ожидаемое выходное напряжение делителя. При проектировании делителя напряжения важно учесть соотношение между величинами токов, проходящих через делитель и нагрузку, чтобы обеспечить приемлемую точность его работы.

Соотношение токов является ключевым аспектом, определяющим точность делителя напряжения. Когда ток, протекающий через делитель, существенно больше тока, протекающего через нагрузку, изменение напряжения на делителе будет оказывать меньшее влияние на выводное напряжение. Это позволяет получить более стабильное и точное деление напряжения.

Увеличение соотношения токов (например, увеличение его на порядок $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$ и так далее) при прочих равных условиях действительно повышает точность работы делителя. Также важно, чтобы соотношение сопротивлений делителя и нагрузки было сбалансированным.

Для того, чтобы подобрать конкретные значения на практике, как правило, достаточно простого алгоритма без излишне сложных вычислений.

- **Определение тока делителя при отключенной нагрузке:** Первым шагом является определение величины тока, который будет протекать через делитель при



отсутствии нагрузки. Этот ток должен быть значительно больше тока, потребляемого нагрузкой, чтобы обеспечить стабильность делителя. Одновременно этот ток не должен создавать слишком большую нагрузку на источник напряжения, чтобы избежать дополнительного падения напряжения на делителе.

- **Расчет суммарного сопротивления:** Используя закон Ома, рассчитывается суммарное сопротивление делителя, которое определяет соотношение между входным и выходным напряжениями.
- **Выбор конкретных значений сопротивлений:** На этом этапе выбираются конкретные значения сопротивлений из стандартного ряда, которые наиболее близки к расчетным. Это может быть сопротивление R1 и R2 или другие сочетания, в зависимости от требований к делителю. Сопротивления выбирают так, чтобы отношение между ними соответствовало желаемому коэффициенту деления напряжения.
- **Учет дополнительных факторов:** Реальное проектирование делителя также требует учета различных факторов, таких как температурный коэффициент сопротивления, допуски на номинальные значения сопротивлений, диапазон изменения входного напряжения, влияние свойств нагрузки на делитель и максимально допустимая мощность резисторов.
- **Уточнение и оптимизация:** После выполнения всех расчетов и учета дополнительных факторов, может потребоваться дополнительная коррекция значений сопротивлений, чтобы достичь желаемой точности и стабильности работы делителя.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Практическая схема делителя постоянного напряжения выглядит следующим образом:

Ток, который протекает в данной схеме:

$$I = 10 / (100 + 400) = 0,02 \text{ A} = 20 \text{ mA}.$$

Падения напряжения на резисторах делителя:

$$U_{R1} = 0,02 * 100 = 2 \text{ V};$$

$$U_{R2} = 0,02 * 400 = 8 \text{ V}.$$

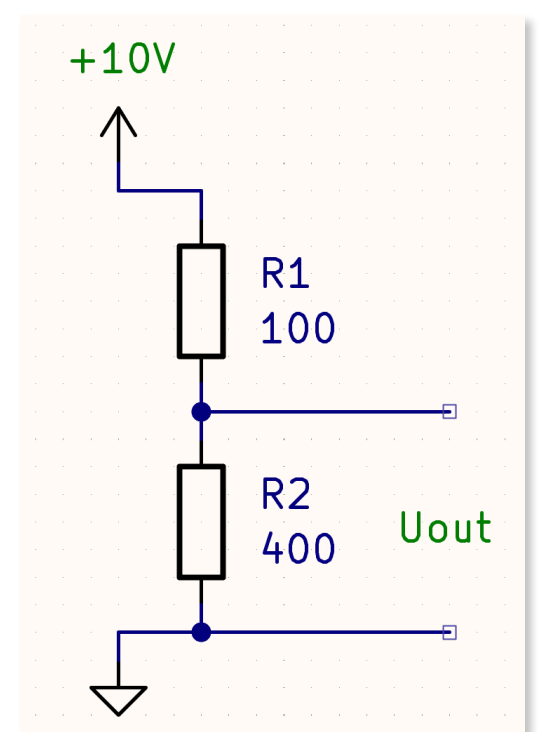
Можем вывести ток:

$$I = U_{R1} / R1$$

Получаем универсальную формулу для расчёта делителя напряжения:

$$U_{R1} / R1 = U_{\text{пит}} / (R1 + R2)$$

Откуда



$$U_{R1} = U_{in} * R1 / (R1 + R2)$$

Величина напряжения на резисторе R1:

$$U_{R1} = 10 * 100 / (100+400) = 2 \text{ В},$$

и на резисторе R2:

$$U_{R2} = 10 * 400 / (100+400) = 8 \text{ В}.$$

Подключение R3 к делителю напряжения провоцирует дополнительное падение напряжения. Примем ток нагрузки 10мА, при должном напряжении на нижнем плече 8 Вольт из расчета выше.

Вычислить сопротивление нагрузки:

$$R3 = U/I = 8\text{В}/0.01\text{А} = 800 \text{ Ом}$$

Рассмотрим нижнюю часть делителя в виде двух параллельных сопротивлений:

$$R_{\text{экв}} = \frac{1}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}} \approx 267 \text{ Ом},$$

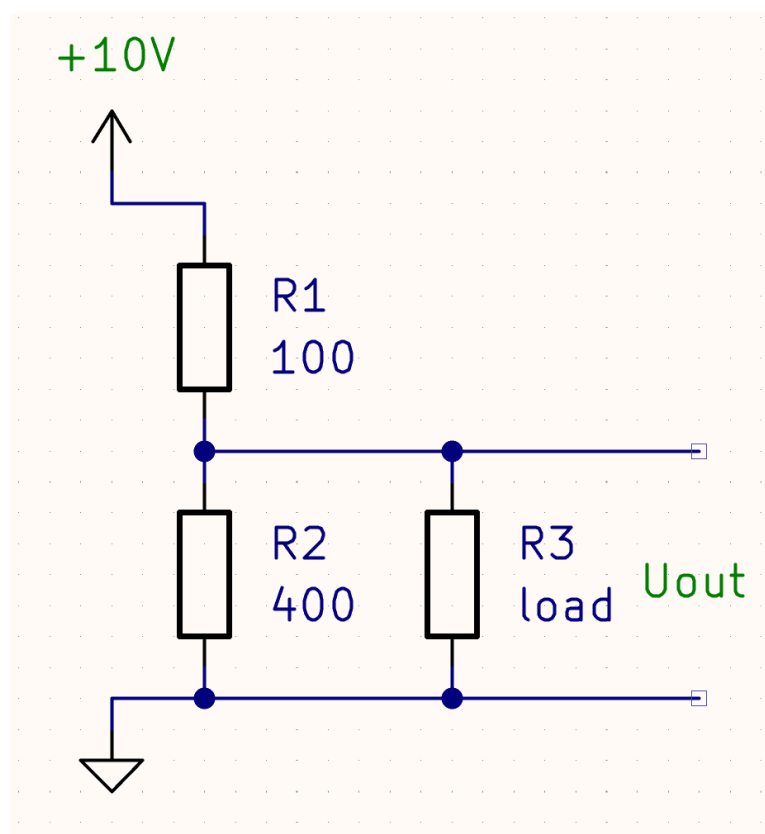
Подставляем в формулу, полученную выше:

$$U_{out} = U \frac{R_{\text{экв}}}{R1 + R_{\text{экв}}} = 10 \times \frac{267}{100 + 267} \approx 7.3 \text{ Вольт}$$

Наглядно видна потеря напряжения, от расчетных 8 Вольт. Одно из решений данной проблемы- это на порядок уменьшить номиналы делящих резисторов. Но в этом случае обратите внимание на **рассеиваемую мощность** данными резисторами.

ПРИМЕНИМОСТЬ

На практике делитель напряжения часто используется для получения нужного пониженного напряжения для нагрузок, которые не требуют большой мощности. Кроме того, делитель напряжения широко применяется для снятия показаний с датчиков. Существует множество компонентов, включая фоторезисторы и термисторы, которые меняют свои характеристики, такие как сопротивление, в зависимости от окружающей среды. Например, фоторезистивные элементы изменяют свое сопротивление в зависимости от уровня освещения, а термисторы изменяют сопротивление в зависимости от температуры.



Исходя из этого, появляется возможность замены одного из резисторов в схеме делителя на фоторезистор, термистор и так далее. Как следствие, выходное напряжение будет изменяться в зависимости от параметров окружающей среды, которые воздействуют на датчик. В дальнейшем, выходной сигнал можно подключить к аналоговому входу микроконтроллера, например такого, как Arduino, и получать информацию о различных параметрах окружающей среды, таких как освещенность и температура. Значение выходного сигнала рассчитывается на основе параметров компонента из его технической документации при определенных условиях окружающей среды и с использованием ранее рассмотренных формул для расчета выходного сигнала.

Кроме того, следует отметить, что делитель напряжения также может использоваться для управления затвором или базой транзистора, что позволяет регулировать ток или напряжение в цепи согласно заданным параметрам.

МОСТ УИТСТОНА

Мост Уитстона – это электрическая схема, используемая для измерения незначительных изменений сопротивления, например, для определения даже малых изменений температуры или механических деформаций. Названная в честь своего создателя, британского физика Сэмюэла Уитстона, мост стал ключевым инструментом в областях, где требуется чувствительное измерение величин.

Схема моста Уитстона состоит из четырех сопротивлений, которые образуют прямоугольник, при этом одно из них – нагрузочное сопротивление, меняется, а другие три остаются постоянными. Такая схема позволяет обнаруживать даже небольшие изменения в переменной нагрузке. Мост Уитстона широко используется в различных областях, включая физику, инженерию, медицину и научные исследования.

Ключевой концепцией, лежащей в основе моста, является балансировка. Сопротивления находятся в таком равновесии, что ток через цепь моста равен нулю, когда мост сбалансирован. Если же сопротивление одного из участков изменяется, то баланс нарушается и ток начинает протекать. Измерение этого тока позволяет определить изменения в переменной нагрузке.

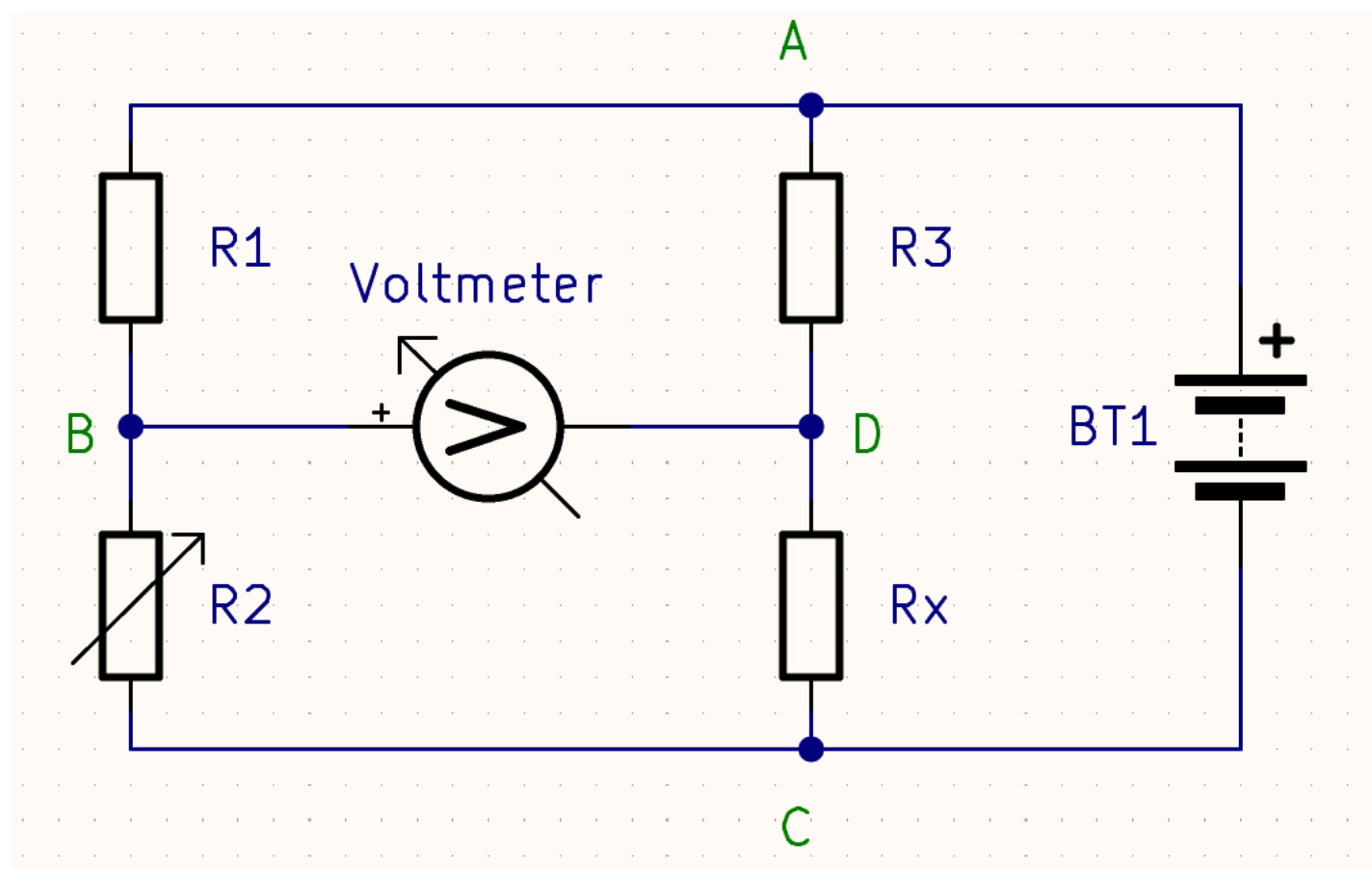
Схема моста Уитстона применяется для решения различных задач. Одной из наиболее известных и распространенных применений является измерение сопротивления датчиков температуры. Терморезисторы, например, изменяют свое сопротивление в зависимости от температуры. Подключив терморезистор к одной ветви моста, а известное сопротивление – к другой, можно измерить даже небольшие изменения температуры.

Другой областью применения моста Уитстона является геофизика. В этом случае, геофоны используются для обнаружения землетрясений и других геологических явлений. Мост позволяет измерять мельчайшие колебания земной поверхности, что важно для предсказания и изучения землетрясений.

Одним из главных достоинств моста Уитстона является его высокая чувствительность к малым изменениям. Это позволяет применять эту схему в разнообразных ситуациях, где необходимо измерить незначительные изменения. Однако для достижения наилучших результатов требуется точная настройка и калибровка, так как даже малейшие изменения в сопротивлениях могут влиять на точность измерений.

Мост Уитстона – это выдающаяся техническая инновация, которая нашла применение во множестве областей, включая физику, инженерию, медицину и научные исследования. Его способность обнаруживать малейшие изменения сделала его незаменимым инструментом для измерения переменных величин, что сыграло ключевую роль в развитии многих научных и технических областей.

ПРИНЦИП РАБОТЫ



Принцип измерения неизвестного сопротивления основан на уравнивании отношений сопротивлений в обоих плечах моста, при этом вольтметр, подключенный между этими плечами, будет показывать нулевое напряжение. На рисунке Rx обозначает неизвестное сопротивление, которое требуется измерить. R1, R2 и R3 представляют собой резисторы с известными значениями сопротивлений, причем резистор R2 является переменным. Если отношение двух известных сопротивлений в плече $R2/R1$ равно отношению сопротивлений в плече $R_x/R3$, то напряжение между точками схемы P2 и P4 будет нулевым, и вольтметр V не будет показывать напряжение. Если мост несбалансирован, то отклонение вольтметра будет указывать на то, что сопротивление резистора R2 слишком велико или слишком мало. Переменный резистор R2 регулируется до тех пор, пока вольтметр не покажет ноль.

Вольтметр позволяет определить отсутствие тока в цепи с высокой точностью. Следовательно, при условии, что резисторы R_1 , R_2 и R_3 имеют высокую точность, неизвестное сопротивление R_x может быть измерено с высокой точностью. Небольшие изменения в сопротивлении R_x приводят к разбалансировке измерительного моста, что обнаруживается по показаниям вольтметра.

При сбалансированном мосте выполняется равенство $R_2/R_1 = R_x/R_3$.

Отсюда можно выразить R_x :

$$R_x = R_3 \cdot R_2 / R_1.$$

Если известны сопротивления R_1 , R_2 и R_3 , а резистор R_2 постоянен, то неизвестное сопротивление R_x может быть рассчитано с использованием законов Кирхгофа. Этот метод измерения широко применяется в тензометрии с использованием тензодатчика, так как измерение с помощью вольтметра проще и быстрее, чем балансировка моста с помощью переменного резистора.

РАСЧЕТ

С применением первого закона Кирхгофа найдем токи, текущие в узлах D и B:

$$I_3 - I_x + I_G = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_G = 0$$

Затем, используя второй закон Кирхгофа, определим напряжения в контурах A-D-B и D-C-B:

$$(I_3 \cdot R_3) - (I_G \cdot R_G) - (I_1 \cdot R_1) = 0$$

$$(I_x \cdot R_x) - (I_2 \cdot R_2) + (I_G \cdot R_G) = 0$$

Учитывая, что мост сбалансирован $I_G = 0$, вторая система уравнений упростится:

$$I_3 \cdot R_3 = I_1 \cdot R_1$$

$$I_x \cdot R_x = I_2 \cdot R_2$$

Решая эту систему уравнений, получим:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot R_3}{R_1 \cdot I_1 \cdot I_x}$$

Из первого закона Кирхгофа следует, что $I_3 = I_x$ и $I_1 = I_2$. Следовательно, величина неизвестного сопротивления R_x будет определена формулой:

$$R_x = \frac{R3 \cdot R2}{R1}$$

Если известны сопротивления всех четырех резисторов, а также питающее напряжение U_{num} , и сопротивление вольтметра достаточно велико, чтобы можно было пренебречь током I_G через него, то напряжение U между точками моста D и B может быть найдено путем вычисления каждого делителя напряжения, с последующим вычитанием напряжения на одном делителе из напряжения на другом делителе. Это приведет к следующему уравнению:

$$U = R_x \cdot \frac{U_{num}}{R3 + R_x} - R2 \cdot \frac{U_{num}}{R1 + R2}$$

Можно вынести питающее напряжение U_{num} за скобки, что приведет к упрощению выражения:

$$U = \left(\frac{R_x}{R3 + R_x} - \frac{R2}{R1 + R2} \right) \cdot U_{num}$$

Где U - напряжение между точками D и B.

Измерительный мост Уинстона иллюстрирует концепцию дифференциальных измерений, результаты которых могут быть очень точными. Различные вариации моста Уинстона применяются для измерения ёмкости, индуктивности, импеданса и других величин. Одним из вариантов является мост Кельвина, который специально предназначен для измерения небольших сопротивлений. Во многих случаях измерение неизвестного сопротивления связано с измерением физических параметров, таких как сила, температура, давление и т.д. В таких случаях в качестве измеряемого сопротивления используется соответствующий резистивный датчик.

Мост Уинстона представляет собой базовую структуру измерительных мостов. Однако существует несколько модификаций этой схемы, которые позволяют проводить измерения различных типов сопротивлений, когда стандартная структура моста не подходит. Вот несколько вариаций основной схемы измерительного моста:

- Мост Кери Фостера: Эта модификация разработана специально для измерения малых сопротивлений. Она позволяет достичь высокой точности при измерении сопротивлений с низкими значениями.
- Делитель Кельвина-Варлея: Эта вариация моста позволяет измерять сопротивления в условиях, когда дополнительные проводники и соединения могут влиять на точность измерений. Она минимизирует влияние сопротивлений соединительных проводов.

- Мост Кельвина: Этот тип моста также используется для измерения малых сопротивлений. Он исключает влияние сопротивления соединительных проводов путем использования дополнительных контактов и проводников.
- Мост Максвелла: Эта модификация предназначена для измерения сопротивлений и реактивных компонентов с большой точностью. Она находит применение в измерениях, связанных с переменными составляющими сопротивлений.

РЕЗИСТОРНО-КОНДЕНСАТОРНЫЕ ЦЕПИ

RC-цепь представляет собой электрическую цепь, включающую в себя как конденсатор, так и резистор. Её можно рассматривать как специальный вид делителя напряжения, в котором одно из плеч имеет свойство емкостного сопротивления по отношению к переменному току.

ВРЕМЯ ЗАРЯДА КОНДЕНСАТОРА

Время заряда конденсатора - это важный параметр, который определяет скорость, с которой конденсатор заряжается до определенного напряжения при подключении к источнику электрической энергии.

Когда конденсатор начинает заряжаться, ток электрического заряда начинает течь через его пластины. По мере увеличения заряда, напряжение на конденсаторе также повышается. Важно понимать, что скорость этого процесса не постоянна, а зависит от значений сопротивления в цепи и емкости самого конденсатора.

Время заряда конденсатора определяется постоянным временем заряда (τ), которое вычисляется как произведение сопротивления (R) и емкости (C):

$$\tau = R * C.$$

Где:

- τ - постоянное время заряда.
- R - сопротивление в цепи, через которое заряжается конденсатор.
- C - емкость конденсатора.

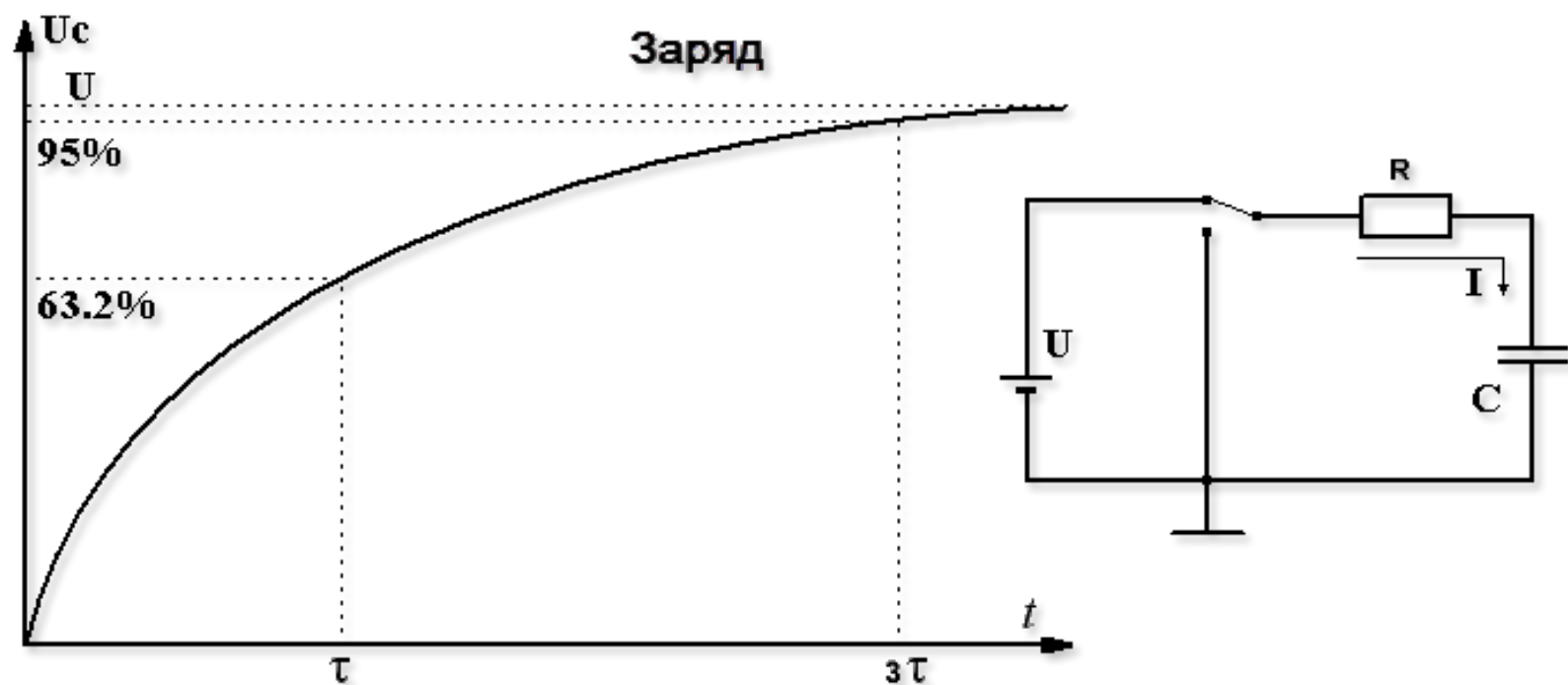
Постоянное время заряда означает, за какое время напряжение на конденсаторе достигнет примерно 63.2% от максимального значения (заряженного напряжения). Это связано с тем, что в начале процесса заряда конденсатора он быстро набирает заряд, но по мере увеличения заряда темп его нарастания снижается.

В идеальных условиях, при наличии бесконечно мощного источника напряжения с нулевым внутренним сопротивлением, идеальных сверхпроводящих проводов и безупречного конденсатора, процесс зарядки будет мгновенным, с временем, равным нулю, так же как и разрядка.

Однако в реальности всегда присутствуют сопротивления, как явные, например, сопротивление резистора, так и неявные, такие как сопротивление проводов или внутреннее сопротивление источника напряжения.

В таком случае скорость зарядки конденсатора будет зависеть от сопротивлений в цепи и емкости конденсатора, а сам процесс зарядки будет описываться экспоненциальным законом.

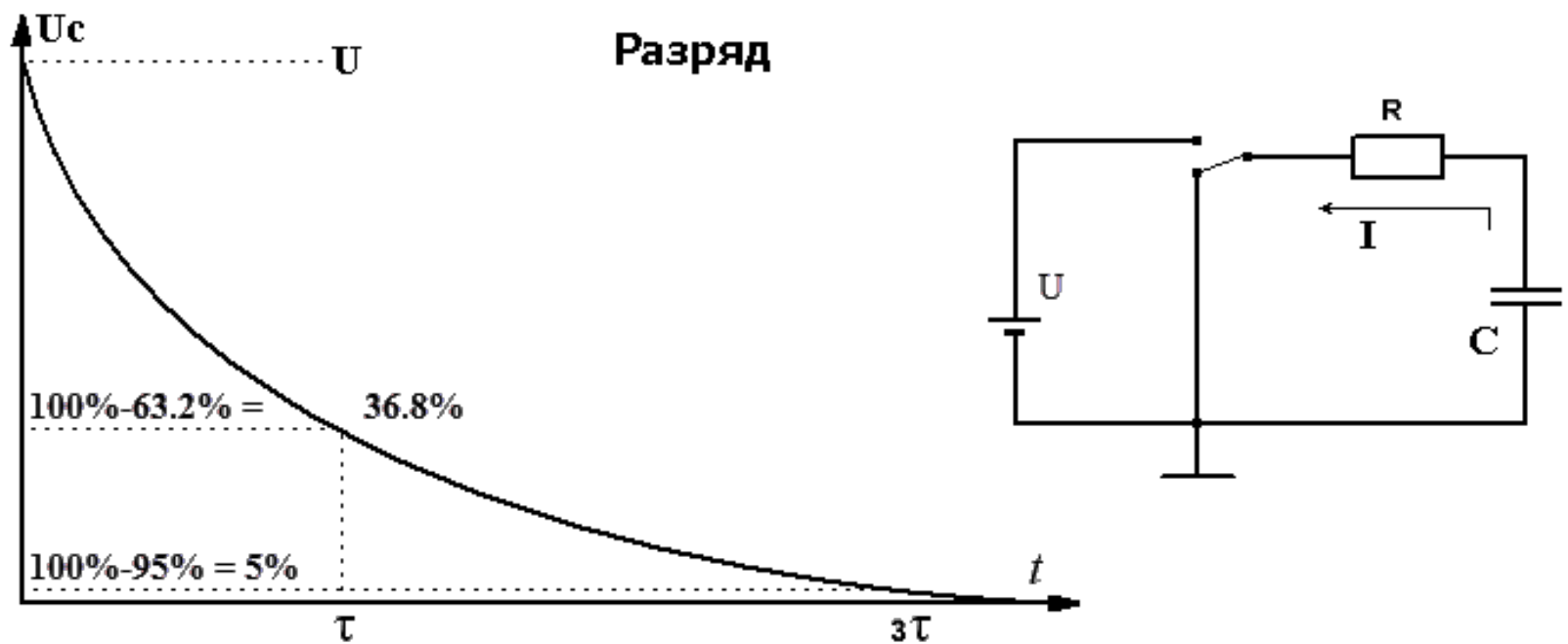
Если мы последовательно подключим конденсатор с емкостью C к резистору с сопротивлением R и подключим эту цепь к источнику постоянного напряжения U , то ток будет проходить через цепь, заряжая конденсатор.



При подключении источника напряжения, ток будет высоким, так как сначала конденсатор ведет себя как короткое замыкание (недостаточно заряжен), и ток ограничивается только сопротивлением R . Время, которое потребуется, чтобы конденсатор зарядился до значения U_C , зависит от емкости C и сопротивления R .

- За время τ конденсатор зарядится до приблизительно 63,2% от значения U .
- Через время 3τ напряжение на конденсаторе составит около 95% от значения U .
- По прошествии времени 5τ напряжение достигнет примерно 99% от значения U .

Если к уже заряженному конденсатору с емкостью C и напряжением U параллельно подключить резистор с сопротивлением R , то начнется процесс разрядки конденсатора. При этом заряд, накопленный на конденсаторе, будет постепенно убывать, так как ток будет проходить через резистор, разряжая конденсатор.

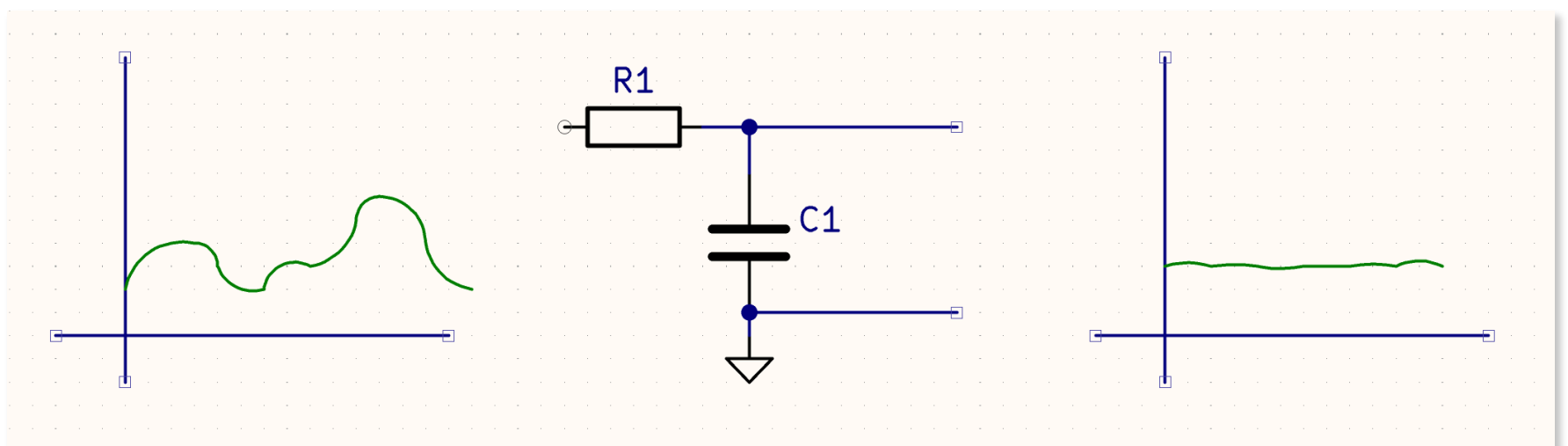


- За время τ (постоянная времени разрядки) напряжение на конденсаторе уменьшится до 36.8% от начального напряжения U .
- За время 3τ напряжение на конденсаторе разрядится до примерно 5% от начального значения U .
- За время 5τ напряжение на конденсаторе упадет до около 1% от начального значения U .

На основе данных процессов получаются две RC-цепи, интегрирующая и дифференцирующая. По-другому их называют фильтром низких (ФНЧ) и высоких (ФВЧ) частот.

ИНТЕГРИРУЮЩАЯ RC-ЦЕПЬ

Фильтр нижних частот (ФНЧ) представляет собой электрическую цепь, которая позволяет проходить сигналам с частотами ниже определенной частоты среза, одновременно подавляя сигналы с частотами, превышающими эту частоту среза. Это делает фильтр нижних частот полезным инструментом для подавления высокочастотных помех и шумов, что позволяет улучшить качество сигнала в определенном диапазоне частот.



Условная интегрирующая RC-цепь

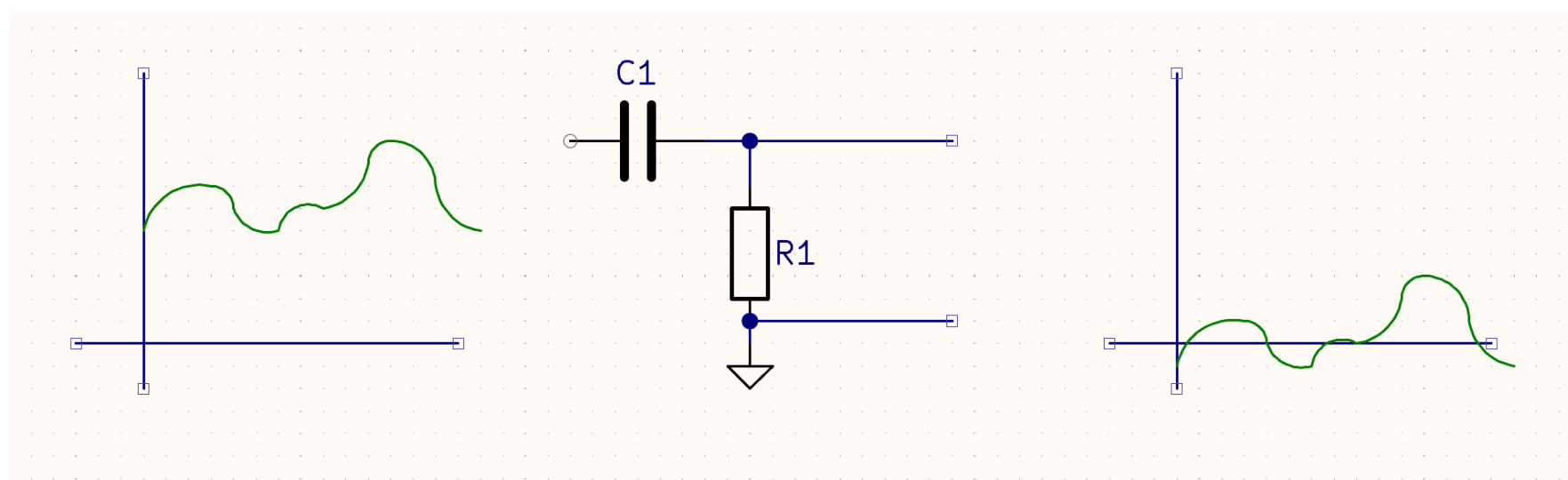
Фильтр низких частот (ФНЧ) позволяет пропускать постоянную составляющую сигнала (частота которой равна нулю) без изменений, так как она не подвергается фильтрации. Одновременно он подавляет сигналы, частоты которых выше чем $1/T$.

* Более подробно и развернуто можно изучить в статье «What Is a Low Pass Filter? A Tutorial on the Basics of Passive RC Filters», автор Robert Keim ([ссылка на оригинал](#))

* Перевод данной статьи размещен на портале RadioProg ([ссылка на перевод](#))

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ RC-ЦЕПЬ

Фильтр высоких частот работает наоборот. Он блокирует постоянную составляющую (ее частота равна нулю), так как конденсатор на постоянном токе ведет себя как разрыв, но переменная составляющая проходит через конденсатор без существенных ограничений. Этот тип фильтра также известен как дифференцирующая цепь, так как на выходе получается дифференциал входной функции, что является скоростью её изменения.



Условная дифференцирующая RC-цепь

При ближайшем рассмотрении этой схемы можно увидеть сходство с делителем напряжения, который используется в интегрирующей цепи. В данной схеме конденсатор является элементом, зависящим от частоты. Если мы подадим постоянный сигнал с частотой 0 Герц, конденсатор просто зарядится и перестанет пропускать ток. По сути, цепь станет разорванной. Однако в случае подачи переменного сигнала, конденсатор начнет пропускать ток. При более высокой частоте сопротивление конденсатора уменьшается. Следовательно, переменный сигнал будет падать на резисторе, с которого мы снимаем сигнал.

Если мы подадим смешанный сигнал, то есть переменный ток в сочетании с постоянным током, то на выходе мы получим исключительно переменный ток.

Момент о **сопротивлении** конденсатора, который упоминался выше. Конденсатор действительно является частотно-зависимым радиоэлементом. Его характеристики, включая сопротивление, изменяются в зависимости от частоты. Чем выше частота, тем

меньшим сопротивлением обладает конденсатор. Эта зависимость имеет важное значение при проектировании и использовании электрических схем, так как она определяет, как конденсатор будет вести себя при разных частотах сигнала. Существует формула для расчета сопротивления конденсатора:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

где

X_c — это сопротивление конденсатора, Ом

π — постоянная и равняется приблизительно 3,14

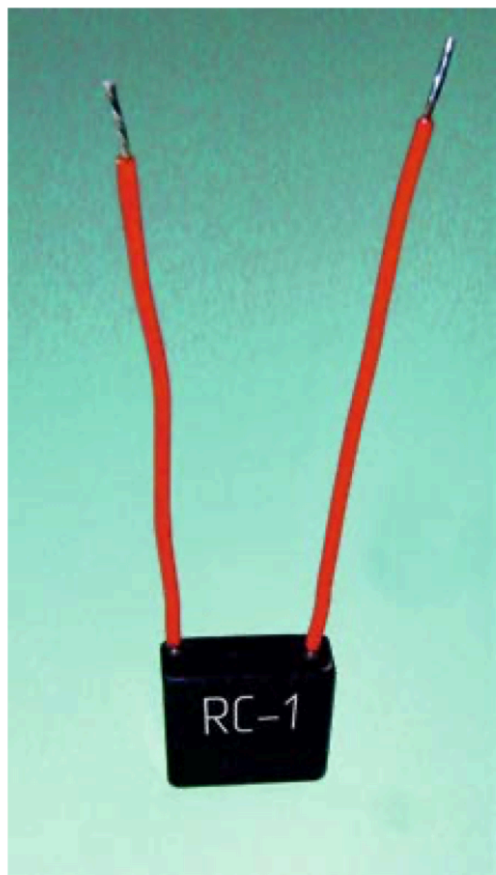
f — частота, Герц

C — емкость конденсатора, Фарад

При постоянном токе, имеющем частоту 0 Гц сопротивление конденсатора в идеале стремится к бесконечности (попробуйте подставить в формулу $f=0$).

ПРИМЕНЕНИЕ

У RC-цепей существует множество вариаций и различных применений. Их используют для фильтрации сигналов, помехоподавления, для построения искрогасящих цепей, для борьбы с дребезгом контактов, формирования временной задержки для включения микроконтроллеров (довольно частое применение), аналоговые измерения, и многое другое, с чем в последствии придется столкнуться. Существуют уже готовые решения, выпускаемые промышленностью.



Пример: Научно-производственное предприятие "ВЭЛ" производит готовые RC-цепочки RC-1 и RC-2.

- RC-цепочка RC-01 RC-цепочка с конденсатором емкостью 0,1мкФ 630В DC и резистором с сопротивлением 100 Ом 2Вт на напряжение - 250/600В (AC/DC)
- RC-цепочка RC-02 RC-цепочка с конденсатором емкостью 0,47мкФ 400ВDC и резистором с сопротивлением 220 Ом 2Вт - 127/200В (AC/DC)

Размеры: ШхВхГ,мм – 23х22х8

Длина выводов, мм - 85