

ЭЛЕКТРОНИКА

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ

КОНДЕНСАТОР

РЕЗИСТОР

ДИОД

СВЕТОДИОД

ИНДУКТИВНОСТЬ

ТРАНЗИСТОР

ТРАНЗИСТОР: БИПОЛЯРНЫЙ

ТРАНЗИСТОР: ПОЛЯРНЫЙ

КНОПКА

ДРЕБЕЗГ КОНТАКТОВ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

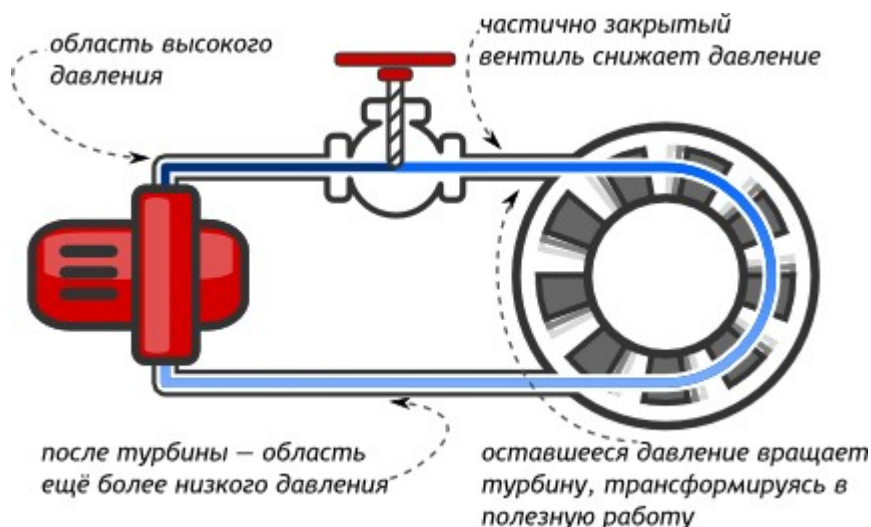
ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

СЧИТЫВАНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ СЕНСОРОВ

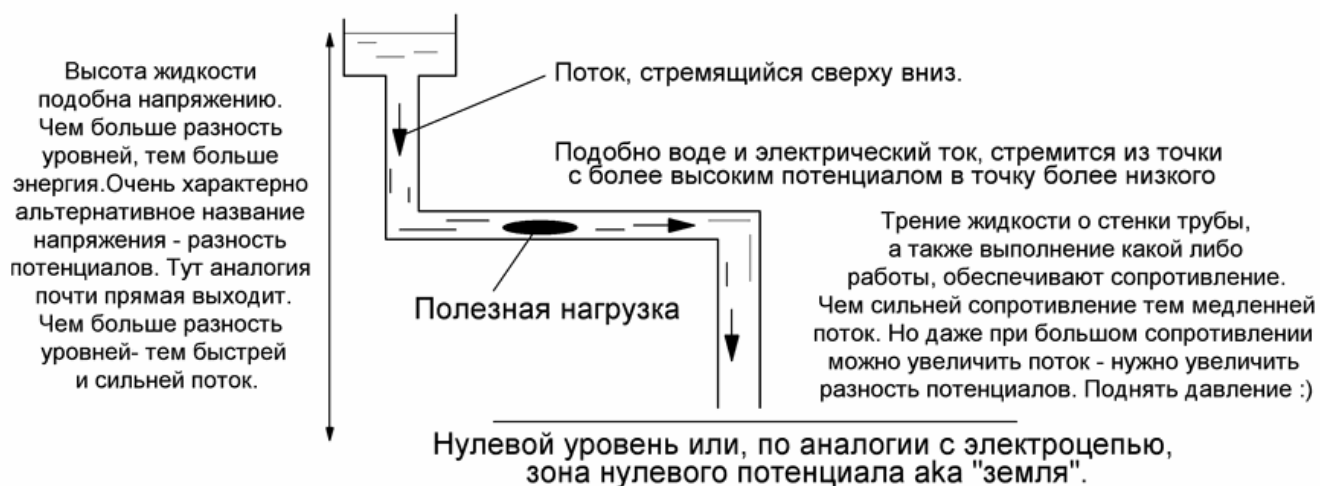
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Поведение электрической цепи можно сравнить с гидравлической системой

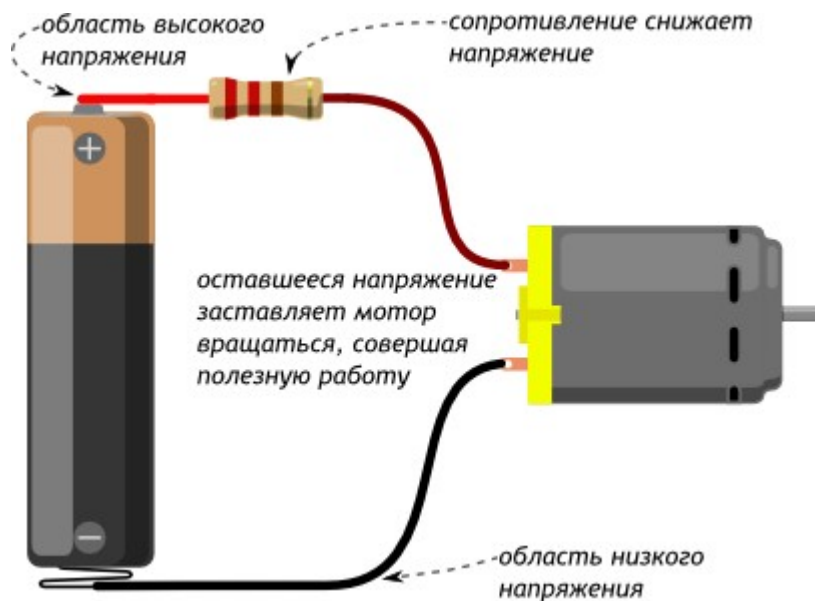


Под действием давления насоса (слева),	Паскаль
по трубам и клапанам разного сечения ,	1/см ²
из области высокого давления	
в область низкого давления	
переносится объём жидкости ,	м ³
формируя поток определённой силы ,	м ³ /сек
который совершает полезную работу ,	Джоуль
передавая энергию турбине с некой скоростью.	Ватт



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

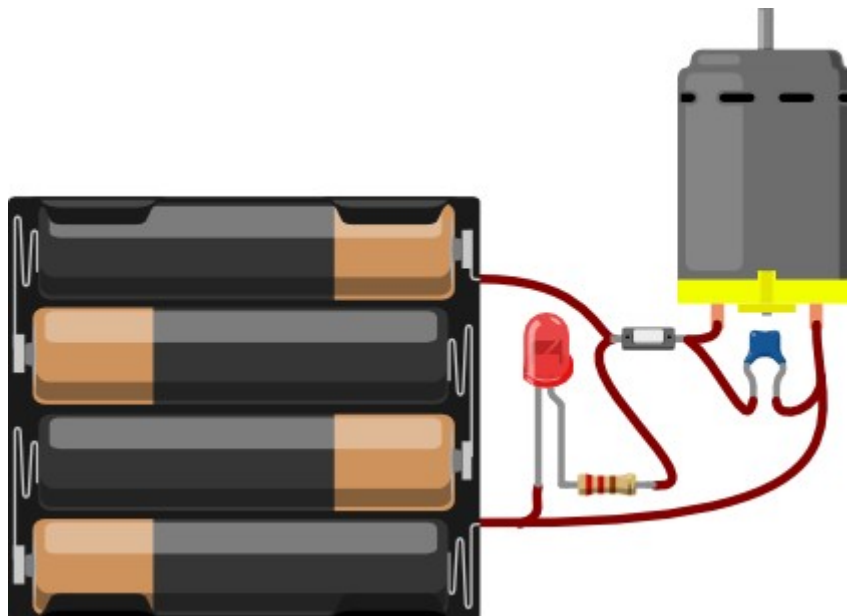


Под действием напряжения источника питания,	Вольт, U
по проводникам и компонентам разного сопротивления ,	Ом, R
от высокого потенциала,	+
к низкому потенциалу	-
переносится заряд ,	Кулон, Q
формируя электрический ток определённой силы ,	Ампер, I
который совершает полезную работу ,	Джоуль, W
превращаясь в другую энергию с некой скоростью.	Ватт, P

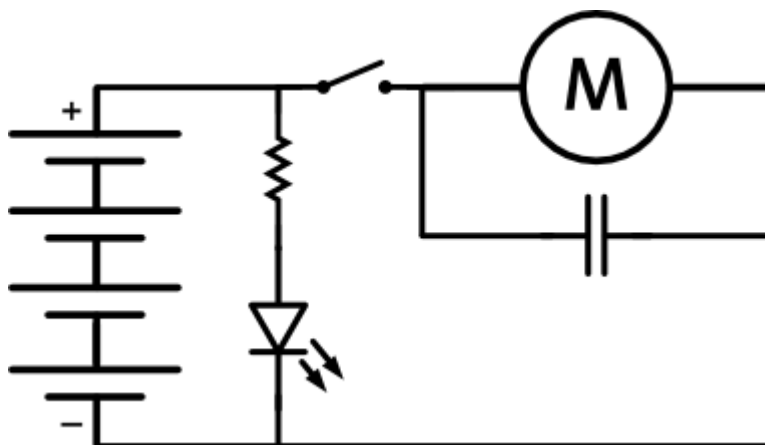
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ

Чтобы изобразить на бумаге как должна выглядеть та или иная электрическая цепь используют схемы. Схемы бывают разных видов со своими преимуществами и недостатками.



рисованная схема
(громоздко и непрактично)

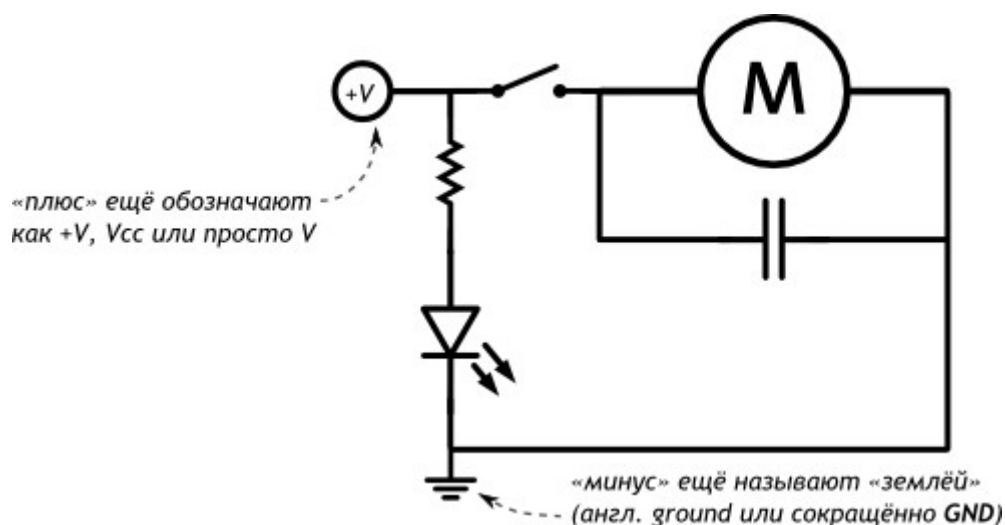


принципиальная схема
(компактно и наглядно)

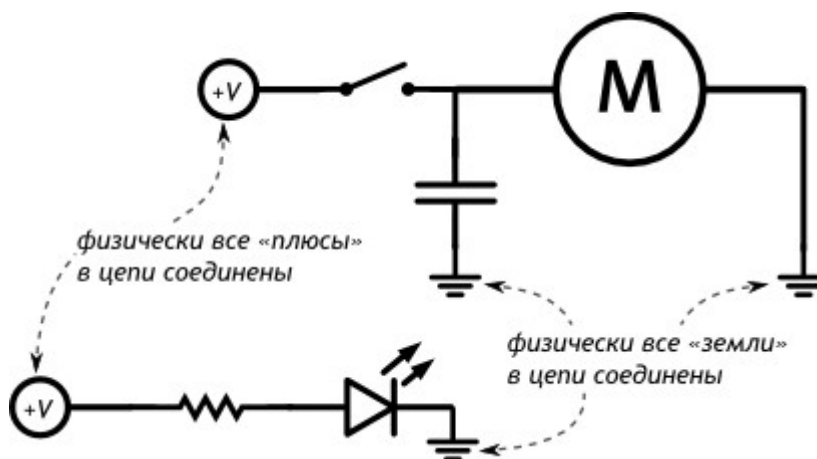
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ

Источник питания зачастую не рисуют в явном виде, а используют отдельные символы для плюса и минуса. Такая схема ещё более компактна.



Часто для удобства одну цепь на схемах разбивают на отдельные части. В сложных проектах так добиваются наглядности и делят зоны ответственности между несколькими инженерами-разработчиками.



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Закон Ома

Главный закон электричества.

Diagram illustrating Ohm's Law: $I = \frac{U}{R}$. The units are indicated by dashed arrows: Амперы (Amperes) for I , Вольты (Volts) for U , and Омы (Ohms) for R . To the right, the formulas $U = I \cdot R$ and $R = \frac{U}{I}$ are shown.

Мощность

Мера скорости трансформации электрической энергии из одной формы в другую.

Diagram illustrating the power formula: $P = I \times U$. The units are indicated by dashed arrows: Амперы (Amperes) for I , Вольты (Volts) for U , and Ватты (Watts) for P .

Зная закон Ома, можно заметить, что мощность можно рассчитать иначе:

$$P = I^2 \times R = \frac{U^2}{R}$$

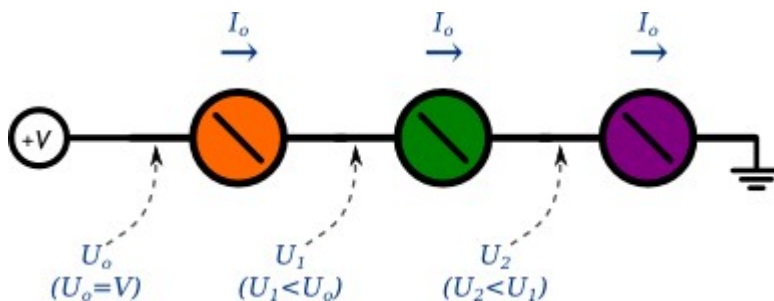
Мир не идеален и часть электроэнергии непременно трансформируется в тепло. Из-за этого и греются компьютеры, телефоны, телевизоры и другая электроника.

Diagram illustrating the power distribution formula: $P = P_W + P_D$. The terms are labeled with dashed arrows: P is потребляемая мощность (consumed power), P_W is полезная мощность (useful power), and P_D is мощность, переходящая в нагрев (power transitioning to heating).

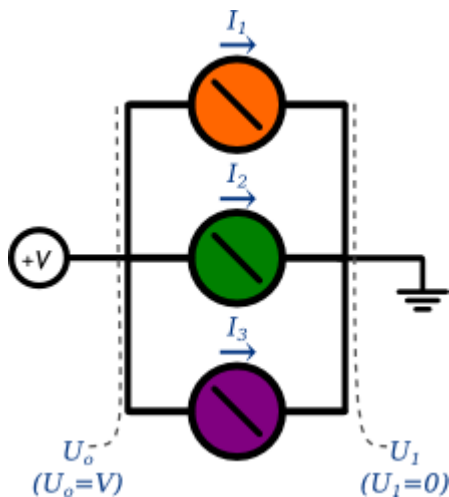
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ

При последовательном подключении сила тока в каждом потребителе — одна и та же, различается напряжение: в каждом компоненте падает его часть.



При параллельном подключении напряжение вокруг каждого потребителя — одно и то же, различается сила тока: каждый потребляет ток в соответствии с собственным сопротивлением.



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ

Если постоянно и монотонно трансформировать электроэнергию в другую форму, область применения электричества будет сильно ограничена. Огромный мир разнообразных полезных устройств открывается, если научиться контролировать и взаимодействовать с электричеством. Для этого существует несколько способов.

Управление вручную



Управление автоматическое

Замыкать и размыкать цепь, измерять напряжение также можно, не вручную, а автоматически, по заданному алгоритму при помощи запрограммированного микроконтроллера.

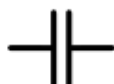
Существуют «сырые» микроконтроллеры, выполненные в виде одной микросхемы. Они дешёвы при массовом производстве, но их программирование и правильное подключение — нетривиальная задача для новичка.

Чтобы решить эту проблему, существуют готовые платы или, как ещё говорят, вычислительные платформы (в том числе и ПЛК). Они делают процесс взаимодействия с микроконтроллером очень простым.

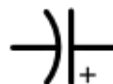
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

КОНДЕНСАТОР

Конденсатор — крошечный аккумулятор, который очень быстро заряжается и очень быстро разряжается. Пассивный элемент.



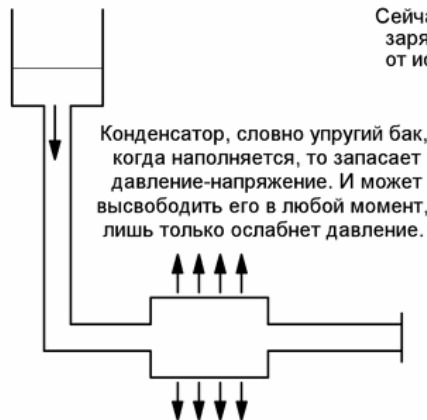
Керамический конденсатор не имеет полюсов. Ёмкость — до 1 мкФ



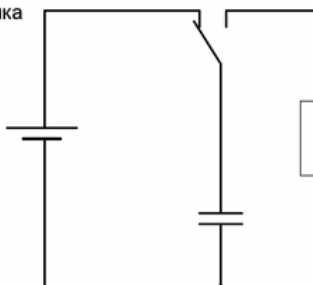
Электролитический конденсатор имеет «плюс» и «минус». Ёмкость — от 1 мкФ

«Минус» отличается более короткой ногой и светлой полоской на корпусе

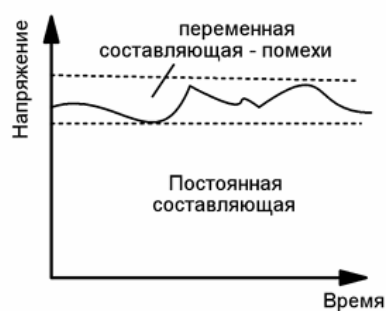
Ёмкость (номинал)	C	Фарад
Точность (допуск)	\pm	%
Максимальное напряжение	U	Вольт



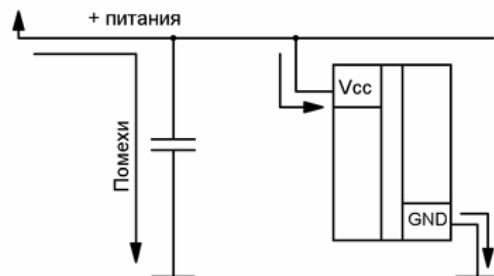
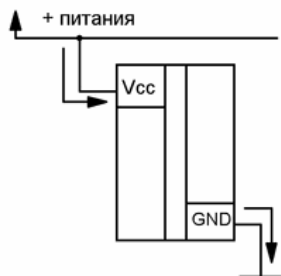
Сейчас кондер заряжается от источника



Но если переключить рубильник на другую цепь, то произойдет разряд кондера на резистор



Конденсатора нет, и все напряжение вместе с помехами идет через девайс. Что явно не идет ему на пользу



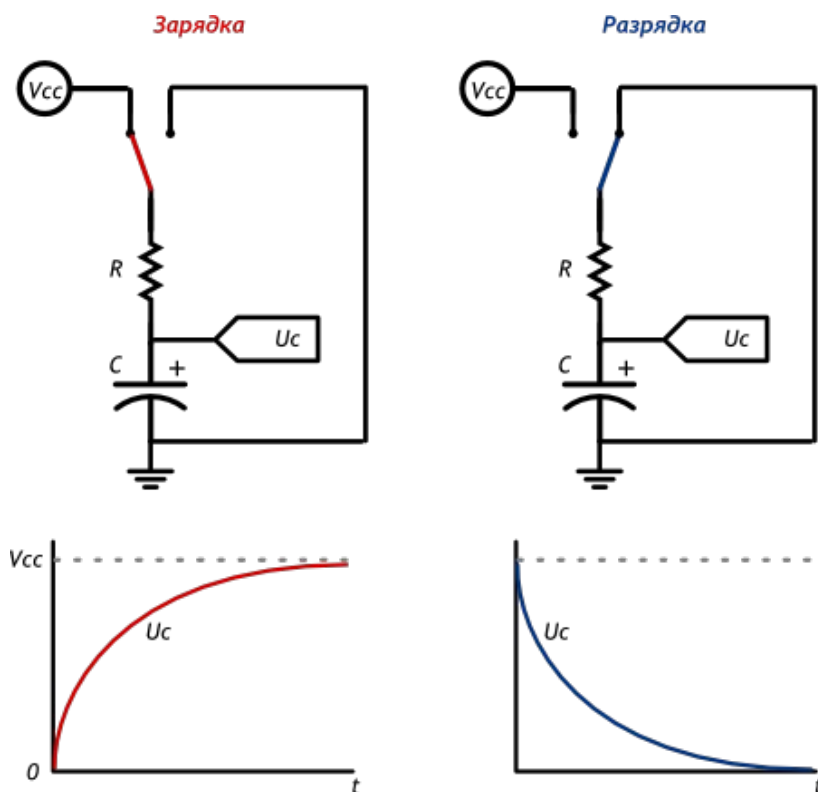
Когда кондер есть, то переменная составляющая в основном идет через него сразу на землю, т.к. сопротивление переменному току у него явно меньше, чем сопротивление девайса. Ну, а постоянная составляющая уже идет через девайс. Так как конденсатор ее никогда не пропустит через себя

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

КОНДЕНСАТОР

Если внешнее напряжение больше внутреннего накопленного, конденсатор будет заряжаться.

Если внешнее напряжение меньше внутреннего, конденсатор будет отдавать заряд.



Постоянная времени τ — показатель для связывания уровня заряда конденсатора с временем.

$$\tau = R \times C$$

Если резистора в схеме нет, его роль исполняет паразитное сопротивление проводов, разъёмов, дорожек, составляющее доли Ома.

Конденсаторы в электронике в основном используют как фильтрующие элементы, удаляющие помехи.

Большие конденсаторы в силовых цепях блоков питания служат для подпитки системы при пиковых нагрузках, сглаживая просадки напряжения.

Конденсатор пропускает постоянный ток только в момент заряда, далее постоянный ток через конденсатор не проходит. Переменная составляющая через конденсатор проходит.

Конденсатор может служить времязадающим элементов в разного рода генераторах — от него будет зависеть частота генерации, либо в качестве формирователя импульса, временной задержки.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

РЕЗИСТОР

Искусственное «препятствие» для тока. Сопротивление в чистом виде. Резистор ограничивает силу тока, переводя часть электроэнергии в тепло. Пассивный элемент.



Сопротивление (номинал)	R	Ом
Точность (допуск)	\pm	%
Мощность	P	Ватт

Роли резистора в электронных схемах:

- **Токоограничение / Current-Limiting**
- **Стягивание / Pull-Down**
- **Подтягивание / Pull-Up**
- **Делитель напряжения / Voltage Divider**

Токоограничение / Current-Limiting

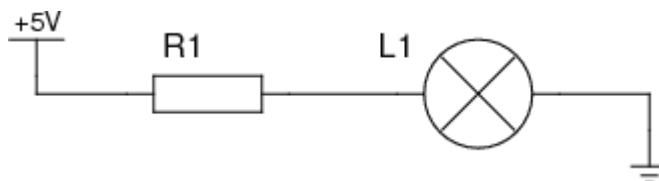
Например, светодиод.

Для работы светодиод требует очень малый ток, порядка 20 миллиампер. Если его подключить напрямую к источнику, например, 5 В, то через него пойдет ток порядка 400 миллиампер. От такого тока светодиод быстро выйдет из строя.

Решается данная проблема путем последовательного включения резистора со светоидом. Резистор снижает силу тока через светодиод до нужного значения.

Резистор подбирается необходимого номинала для обеспечения светодиоду требуемого тока.

Место включения регистра (до или после светодиода) не имеет значения.



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

РЕЗИСТОР

Стягивание / Pull-Down

Стягивающий резистор — это резистор, включенный между проводником, по которому протекает электрический ток, и «землей» (**стягивание на «землю»**).

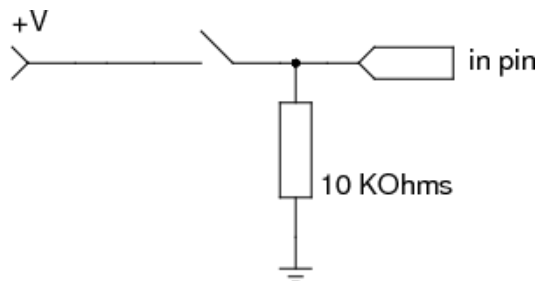
Стягивающий резистор используют в схемах рядом с входным контактом какого-либо логического компонента (управляющий контакт транзистора, вход микросхемы / микроконтроллера), где важен факт — подается ноль вольт (логический ноль) или не ноль (логическая единица). **Стягивающий резистор гарантирует в точке входа низкий уровень сигнала (по-умолчанию, FALSE) при разомкнутой цепи.**

Например, цифровой (дискретный) вход контроллера.

Стягивающий резистор здесь нужен, чтобы не оставить вход в «подвешенном» состоянии (ни к чему не подключенный).

Допустим, подключим к цифровому (дискретному) входу контроллера кнопку. Пока кнопка не нажата (цепь разомкнута), вход находится в «подвешенном» (никаком) состоянии. Такой вход может хаотично срабатывать или не срабатывать (непредсказуемым образом). Причина этому — шумы (наводки, паразитные сигналы), образующиеся вокруг. Провод/проводники действуют как маленькие антенны и «производят» электрический ток из электромагнитных волн окружающей среды. Этот ток хоть и небольшой, и, порой, непостоянный, но его может хватить, чтобы вход воспринял его.

Чтобы гарантировать отсутствие ложных сигналов при разомкнутой цепи, рядом со входом ставится стягивающий резистор.



При размыкании цепи:

- вход «in pin» не в «подвешенном состоянии» (по-умолчанию, подтянут к «земле»)
- наведенные токи на разомкнутом контакте уходят через резистор на «землю»
- на входе «in pin» логический ноль (FALSE)

При замыкании цепи:

- на вход «in pin» подается стабильный (постоянный) сигнал
- малая часть тока все же будет уходить через резистор на «землю»
- наводки на проводах/проводниках (если есть), то в данном случае ни на что не влияют и либо будут отведены через резистор на «землю», либо пойдут на вход в составе полезной составляющей (в случае дискретного сигнала)
- на входе «in pin» логическая единица (TRUE)

Для стягивания используют резисторы больших сопротивлений (десятки кОм).

Большое сопротивление резистора не дает большей части тока уходить на «землю».

Если бы сопротивление стягивающего резистора было мало (единицы Ом), то при замкнутой цепи большая часть полезного сигнала пошла бы на «землю» - произошло бы короткое замыкание.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

РЕЗИСТОР

Подтягивание / Pull-Up

Подтягивающий резистор — это резистор, включенный между проводником, по которому протекает электрический ток, и «питанием» (*подтягивание к «питанию»*).

Подтягивающий резистор используют в схемах рядом с входным контактом какого-либо логического компонента, где важен факт — подается ноль вольт (логический ноль) или не ноль (логическая единица). **Подтягивающий резистор гарантирует в точке входа высокий уровень сигнала (по-умолчанию, TRUE) при разомкнутой цепи.**

Например, цифровой (дискретный) вход контроллера.

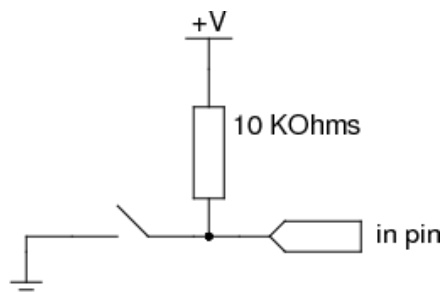
Здесь подтягивающий резистор выполняет обратное действие (инверсное) тому, что выполнял стягивающий резистор.

При размыкании цепи:

- вход «in pin» не в «подвешенном состоянии» (по-умолчанию, подтянут к питанию)
- на входе «in pin» логическая единица (TRUE)
- наводки на проводах/проводниках ни на что не влияют и пойдут на вход в составе полезной составляющей (в случае дискретного сигнала)

При замыкании цепи:

- весь сигнал с питания устремляется на «землю»
- на входе «in pin» логический ноль (FALSE)

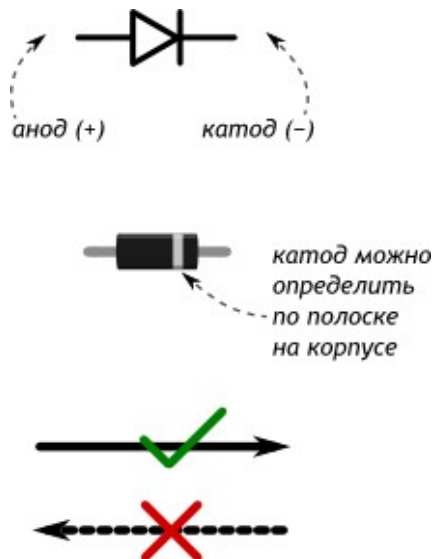


Здесь также используются резисторы больших номиналов (десятки кОм), чтобы минимизировать потери энергии при замкнутой цепи и предотвратить короткое замыкание при разомкнутой.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДИОД

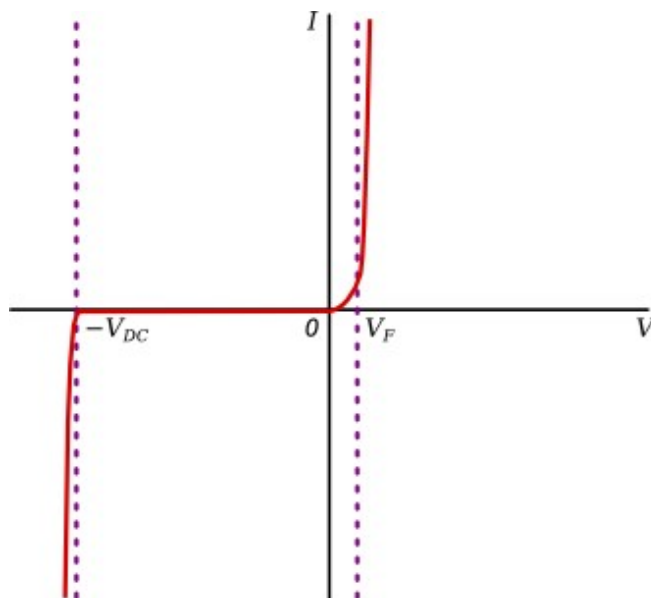
Электрический «ниппель» с двумя полюсами: анод и катод.
Ток пропускается только от анода к катоду.
Пассивный элемент.



Падение прямого напряжения	U_F	Вольт
Максимальное сдерживаемое обратное напряжение	U_{DC}	Вольт
Максимальный прямой ток	I_F	Ампер

После того, как напряжение в прямом направлении превысит небольшой порог V_F диод открывается и начинает практически беспрепятственно пропускать ток, который создаётся оставшимся напряжением.

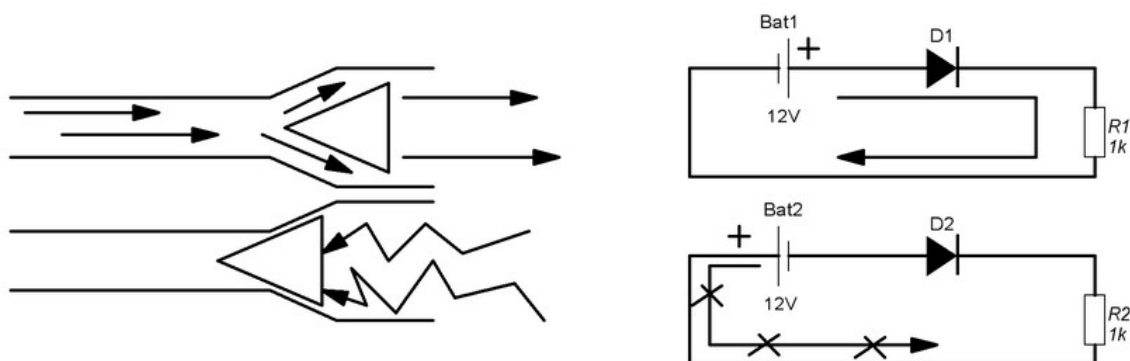
Если напряжение подаётся в обратном направлении, диод сдерживает ток вплоть до некоторого большого напряжения V_{DC} после чего пробивается и работает также, как в прямом направлении.



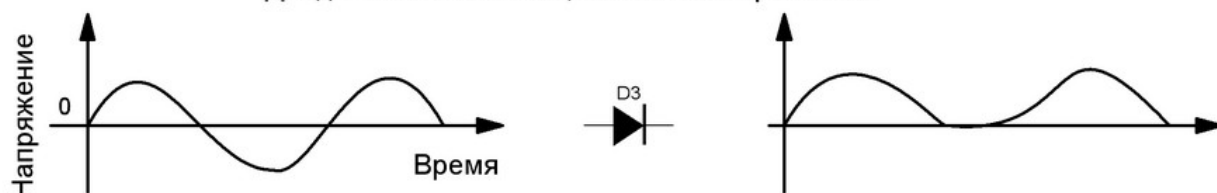
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДИОД

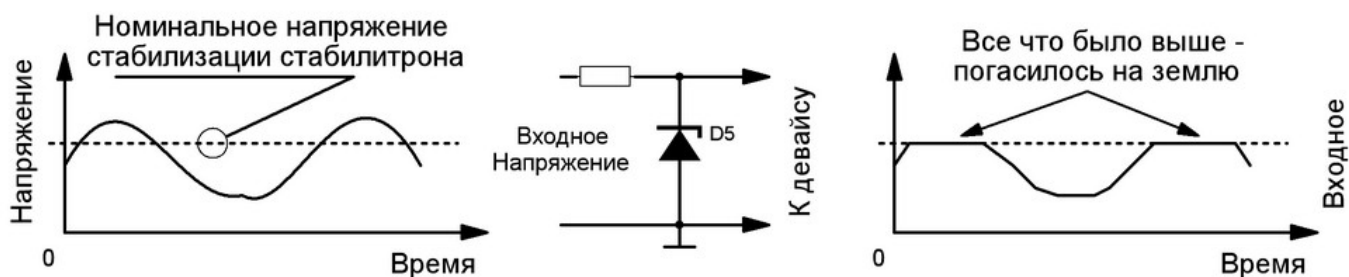
Диод применяется, например, в выпрямителях, когда из переменного тока необходимо сделать постоянный. Или когда необходимо отделить обратное напряжение от прямого.



Диод - тот же ниппель, только электрический



Диод пропустил через себя только положительную полуволну переменного сигнала
Все, что было ниже нуля (т.е. шло в другом направлении) "завязло" на диоде.



При превышении напряжения сверх номинала стабилитрон откроется и излишек напряжения уйдет на землю. Резистор нужен, чтобы стабилитрон не сгорел при этом - для ограничения тока.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДИОД

Выпрямительный диод

Также известен как защитный, кремниевый

- $V_F = 0,7 \text{ В}$
- V_{DC} — сотни или тысячи вольт
- Открывается медленно
- Восстанавливается после пробоя обратным током



Диод Шоттки

Также известен как сигнальный, германиевый

- $V_F = 0,3 \text{ В}$
- V_{DC} — десятки вольт
- Открывается быстро
- Сгорает после пробоя обратным током



Диод Зеннера

Также известен как стабилитрон

- $V_F = 1 \text{ В}$
- V_{DC} — фиксированное на выбор
- Умышленно используется в обратном направлении как источник фиксированного напряжения

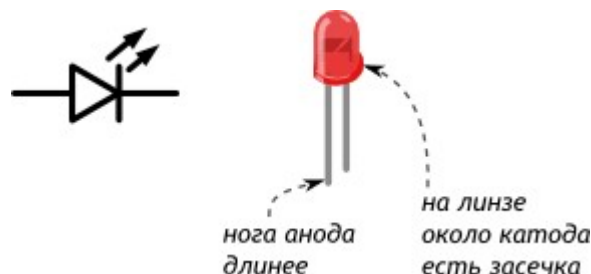


ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

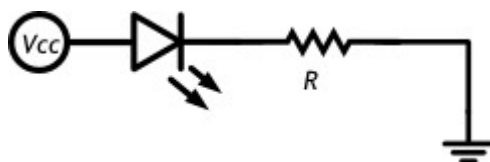
СВЕТОДИОД

Энергоэффективная, надёжная, долговечная «лампочка» (LED).

Светодиод — вид диода, который светится, когда через него проходит ток от анода (+) к катоду (-).



Падение напряжения	V_F	Вольт
Номинальный ток	I	Ампер
Интенсивность (яркость)	I_V	Кандела
Длина волны (цвет)	λ	Нанометр



типовая схема включения

Собственное сопротивление светодиода после насыщения очень мало, и без резистора, ограничивающего ток через светодиод, он перегорит.

Порядок: «резистор до» или «резистор после» — не важен.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

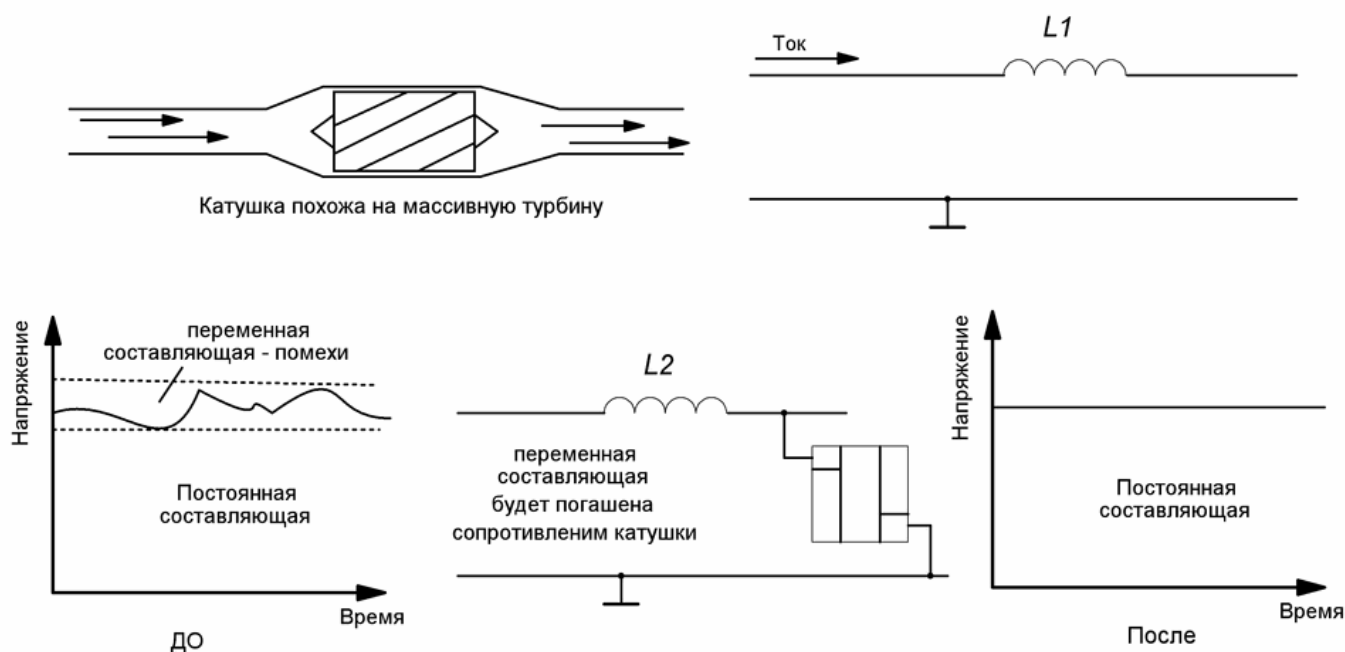
ИНДУКТИВНОСТЬ

Пассивный элемент. В эту группу входят: катушки, дроссели, фильтры, некоторые антенны.

В гидро модели катушка похожа на турбину с неслабой инерцией, где величина инерции является прообразом индуктивности. На стабильно текущий поток турбина, будучи раскрученной этим же потоком, не влияет никак, но стоит потоку ослабнуть, как турбина начнет за счет своей инерции подталкивать его. И наоборот, если турбина остановлена, то при появлении потока она будет его тормозить, пока не раскрутится. Чем больше инерция, тем сильнее будет сопротивление изменению потока. Так и катушка индуктивности препятствует изменению тока, протекающего через неё.

Катушка свободно пропускает через себя постоянную составляющую тока и подавляет переменную.

Основное применение катушки в колебательных контурах генераторов и в фильтрах.



Переменная составляющая "завязнет" на индуктивном сопротивлении катушки и сильно ослабнет, а постоянная составляющая пройдет через катушку практически без потерь. В итоге, на девайсе будет почти "чистое" постоянное напряжение

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ТРАНЗИСТОР

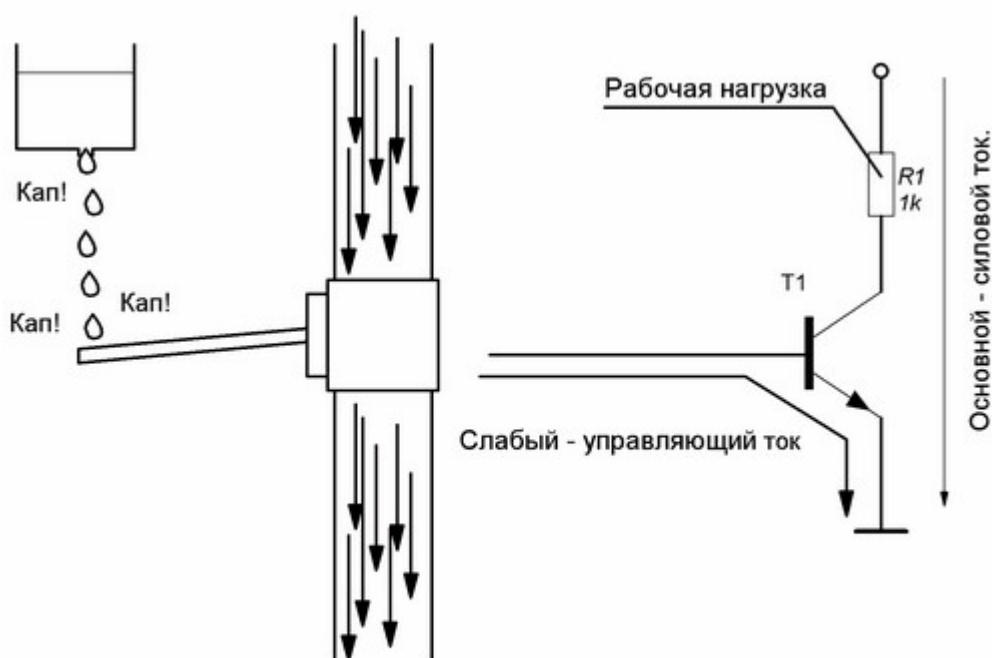
«Электронная кнопка».

На кнопку нажимают пальцем, а на биполярный транзистор — током.

Транзисторы используют для управления мощными нагрузками при помощи слабых сигналов с микроконтроллера.

Транзистор можно также сравнить с управляемым вентилям, где крохотным усилием мы управляем мощнейшим потоком. Чуть повернул рукоятку и поток жидкости помчался по трубам, открыли посильней и поток стал еще больше. Т.е. выход пропорционален входу умноженному на какую то величину. Этой величиной является **коэффициент усиления**.

Транзисторы делятся на **биполярные** и **полевые**.



Транзистор подобен вентилю. Где крошечная сила может управлять могучим потоком энергии, в сотни раз превышающим управляющей.

Транзисторы делятся на **биполярные** и **полевые**.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

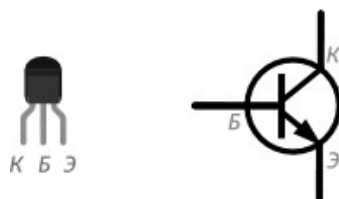
ТРАНЗИСТОР

Биполярный транзистор

В биполярном транзисторе есть эмиттер, коллектор и база.

Эмиттер он со стрелочкой, база обозначается как прямая площадка между эмиттером и коллектором. Между эмиттером и коллектором идет большой ток полезной нагрузки, направление тока определяется стрелочкой на эмиттере. А вот между базой и эмиттером идет маленький управляющий ток. Грубо говоря, величина управляющего тока влияет на сопротивление между коллектором и эмиттером.

Биполярные транзисторы бывают двух типов: **p-n-p** и **n-p-n** принципиальная разница только лишь в направлении тока через них.

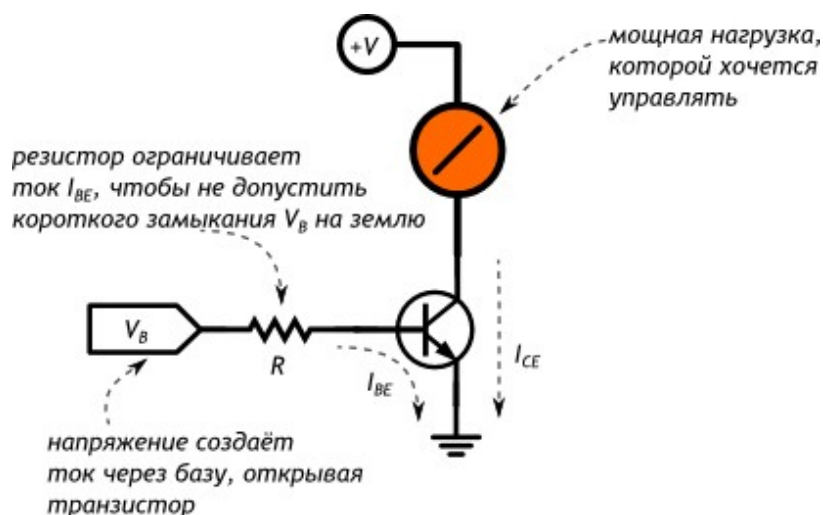


- Контакт, выполняющий роль «кнопки», называется **База** (англ. Base).
- Пока через Базу течёт небольшой ток, транзистор открыт
- Большой ток может втекать в **Коллектор** (англ. Collector) и вытекать из **Эмиттера** (англ. Emitter)

Максимальное напряжение Коллектор-Эмиттер	V_{CE}	Вольт
Максимальный ток через Коллектор	I_C	Ампер
Коэффициент усиления	h_{fe}	

Транзистор усиливает максимально допустимый ток в h_{fe} раз:

$$I_{CE} = I_{BE} \times h_{fe}$$



ТИПОВАЯ схема включения

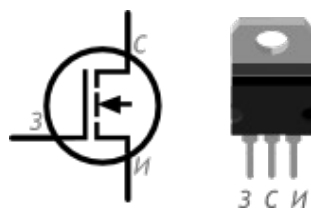
ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ТРАНЗИСТОР

Полевой транзистор

Полевой (MOSFET) транзистор — ключ для управления большими токами при помощи небольшого напряжения.

Полевой транзистор отличается от биполярного тем, что в нем сопротивление канала между истоком и стоком определяется уже не током, а напряжением на затворе (т. е., полевой транзистор управляется напряжением, а не током). Последнее время полевые транзисторы получили громадную популярность (на них построены все микропроцессоры), т.к. токи в них протекают микроскопические, решающую роль играет напряжение, а значит потери и тепловыделение минимальны.



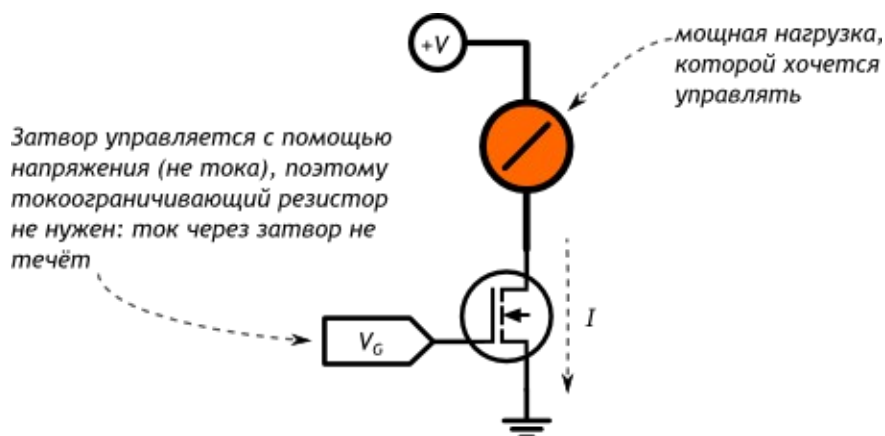
- Контакт, выполняющий роль «кнопки», называется **Затвором** (англ. Gate).
- Пока на затворе есть небольшое напряжение, транзистор открыт
- Большой ток может втекать в **Сток** (англ. Drain) и вытекать из **Истока** (англ. Source)

Максимальное напряжение Сток-Исток	V_{DS}	Вольт
Максимальный ток через Сток	I_D	Ампер
Сопротивление Сток-Исток	R_{DSon}	Ом
Рассеиваемая мощность	P_D	Вт

Транзистор не идеален и часть пропускаемой мощности превращается в тепло.

$$P_H = I^2 \times R_{DSon}$$

Если P_H превысит P_D , то без помощи дополнительного охлаждения транзистор сгорит.

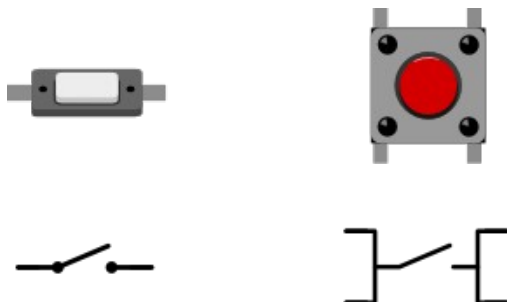


типовая схема включения

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

КНОПКА

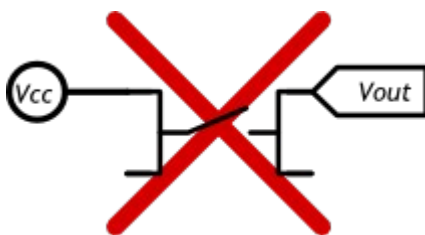
Тактовая кнопка — простой, всем известный механизм, замыкающий цепь пока есть давление на толкатель.



Кнопки с 4 контактами стоит рассматривать, как 2 пары рельс, которые соединяются при нажатии.

Схема подключения

Напрашивается подключение напрямую. Но это наивный, неверный способ.



Пока кнопка нажата, выходное напряжение $V_{out} = V_{cc}$, но пока она отпущена, $V_{out} \neq 0$. Кнопка и провода в этом случае работают как антенна, и V_{out} будет «шуметь», принимая случайные значения «из воздуха».

Пока соединения нет, необходимо дать резервный, слабый путь, делающий напряжение определённым. Для этого используют один из двух вариантов.

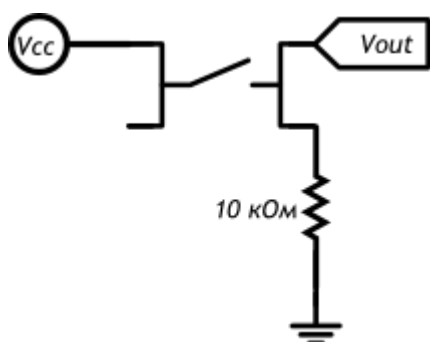


схема со стягивающим резистором
(есть нажатие: $V_{out} = V_{cc}$,
нет нажатия: $V_{out} = 0$)

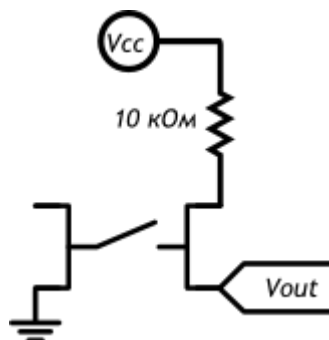


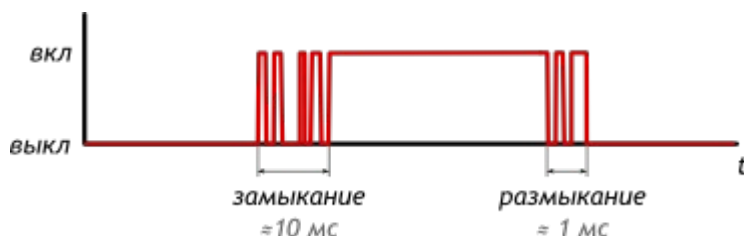
схема с подтягивающим резистором
(есть нажатие: $V_{out} = 0$,
нет нажатия: $V_{out} = V_{cc}$)

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДРЕБЕЗГ КОНТАКТОВ

При замыкании и размыкании между пластинами кнопки возникают микроискры, провоцирующие до десятка переключений за несколько миллисекунд. Явление называется дребезгом (англ. bounce). Это нужно учитывать, если необходимо фиксировать «клики».

Аналогичный эффект наблюдается во всех элементах, обладающих механическими контактами (контакты реле, герконы и т. п.).



Продолжительность этого процесса отличается для различных переключателей и составляет от долей миллисекунды до сотен миллисекунд. Также видно, что продолжительности отдельных импульсов различны. На приведенной осциллограмме длительность дребезга контактов составляет от 1 до 10 мс. В процессе эксплуатации, число ложных переключений и их общая продолжительность возрастают вследствие механического износа контактных площадок.

Дребезг контактов создает ложные сигналы, отрицательно сказывающиеся на любой системе управления.

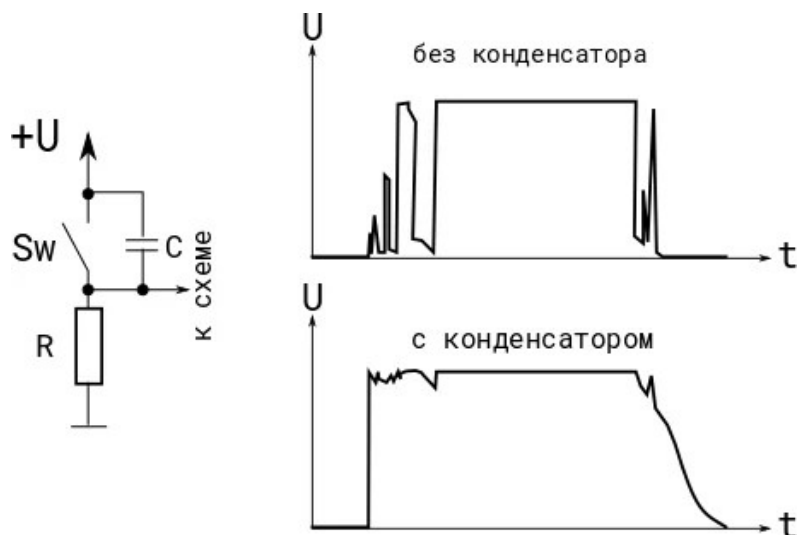
С эффектом дребезга контактов можно бороться либо аппаратными, либо программными методами.

Аппаратные методы заключается в применении различных электронных компонентов:

- фильтрующие конденсаторы (например, 0,1 мкФ)
- Фильтрующие / сглаживающие RC-цепочки (резистор и конденсатор)
- RS-триггеры (Set-Reset)

Программные методы:

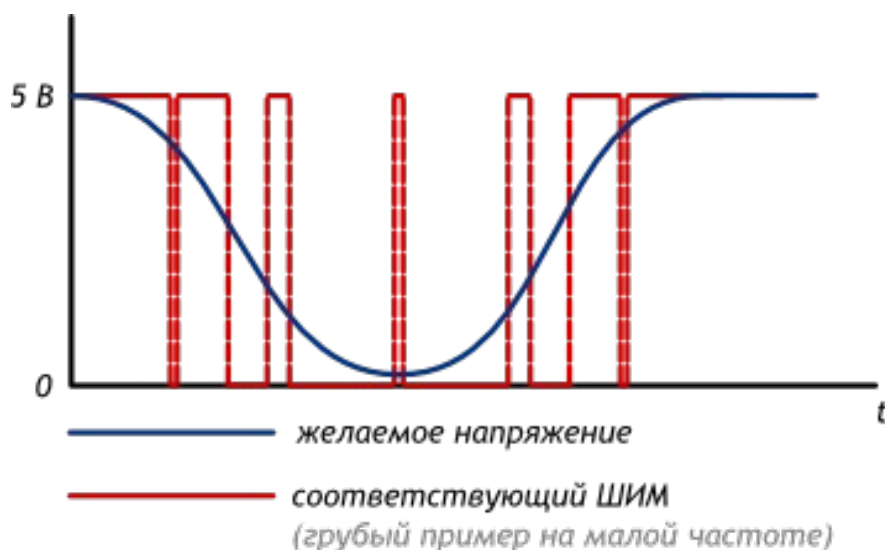
- использование временных задержек (выдержка уровня входного сигнала)



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ, PWM - Pulse-Width Modulation) — процесс управления мощностью методом пульсирующего включения и выключения потребителя энергии. Буквально — регулировка ширины или длительности импульса.



Различают ШИМ:

- аналоговый
- **цифровой**
- двоичный (двухуровневый)
- троичный (трёхуровневый)

Цифровой способ осуществляется применением специализированных микросхем или микроконтроллеров.

Во многих микроконтроллерах «на борту» имеется встроенный модуль для аппаратной реализации ШИМ, где для получения PWM-сигнала на выходе необходимо задать ряд настроек.

Если в микроконтроллере отсутствует встроенный ШИМ-модуль, то ШИМ можно организовать чисто программным методом. Программный способ реализации ШИМ дает более широкие возможности и предоставляет больше свободы за счёт гибкого использования различных алгоритмов.

Основные характеристики ШИМ:

- Амплитуда импульса (**A**)
- Длительность импульса (t_n)
- Пауза импульса (t_p)
- Скважность (**S**)
- Коэффициент заполнения импульса (**D**)
- Период импульсов (**T**)
- Частота (**f**)
- Разрешение

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

Амплитуда (**A**) — это высота импульса, соответствующая наибольшему значению электрического сигнала (напряжения или тока). Выражается в единицах соответствующего электрического сигнала (Вольты или Амперы). Амплитуда должна обеспечивать номинальный сигнал (например, в случае управления ШИМ по напряжению - обеспечивать номинальное напряжение питания потребителя).

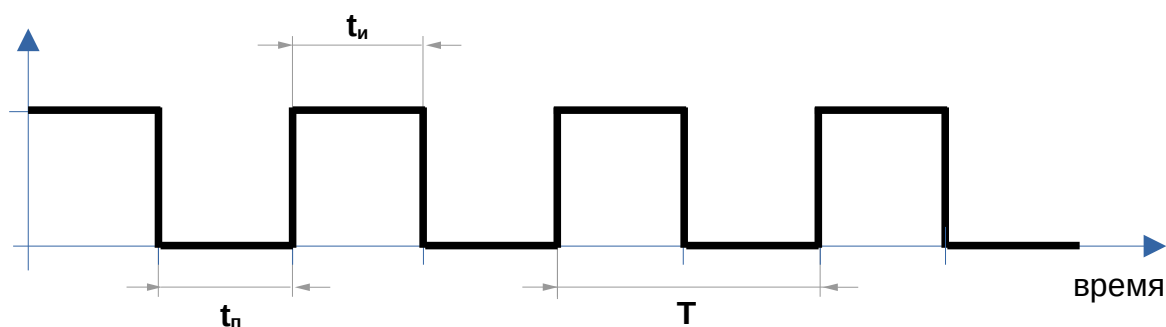
Длительность импульса (t_u) — это временной интервал, на протяжении которого электрический сигнал имеет наибольшее значение. Выражается в единицах времени (например, микросекунды, миллисекунды, секунды и т. д.).

Длительность импульса (t_n) — это временной интервал, на протяжении которого электрический сигнал имеет наименьшее значение или не имеет сигнала вообще. Выражается в единицах времени (например, микросекунды, миллисекунды, секунды и т. д.).

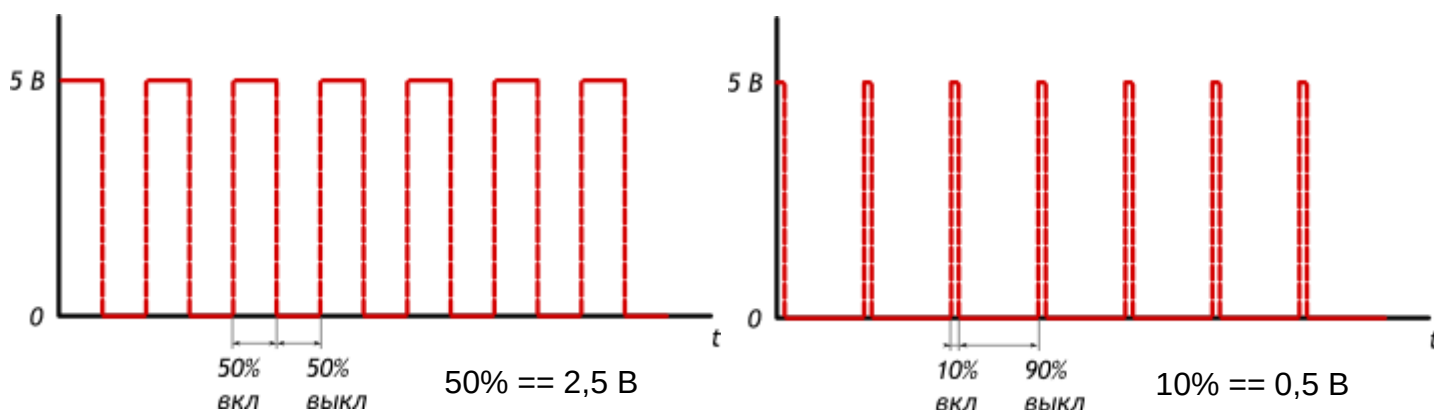
Скважность (**S**) — это величина, определяющая отношение периода следования (повторения) импульсов к длительности импульса. Величина — безразмерная и изменяется в диапазоне от 0 до бесконечности (∞).

Коэффициент заполнения (**D**) или рабочий цикл (Duty cycle) — это величина, обратная скважности. Величина — безразмерная и изменяется от 0 до 1. Часто переводят в %, умножая полученное значение на 100.

$$S = \frac{T}{t_u} = \frac{1}{D} \quad D = \frac{t_u}{T} = \frac{1}{S} \quad T = t_u + t_n \quad f = \frac{1}{T}$$

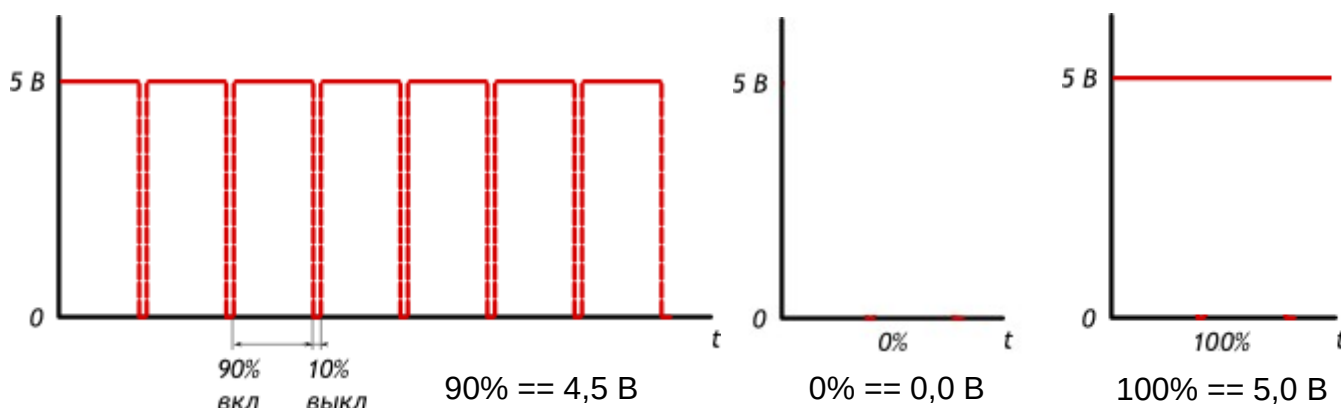


Рассмотрим несколько сценариев ШИМ при опорном напряжении 5 В:



ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)



Благодаря возможности регулировки ширины импульса можно изменять, например, **среднее напряжения** (U_{cp}):

$$U_{cp} = k \cdot U$$

где, k — коэффициент заполнения ШИМ

U — опорное напряжение (В)

Таким образом, ШИМ дает простую возможность изменять напряжение (например, в диапазоне от 0,0 до U В).

Разрешение ШИМ сигнала определяет точность (шаг), с которой можно изменять коэффициент заполнения. Чем больше разрешение, тем плавнее будет меняться мощность на управляющем устройстве (например, разрешение: 0,0 — 100,0% с шагом 0,1%).

Частота ШИМ (f) определяет период импульса (T) и зависит от типа управляемого устройства.

Инерция - свойство тела оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие внешних воздействий, а также препятствовать изменению своей скорости (как по модулю, так и по направлению) при наличии внешних сил за счёт своей инертной массы.

Понятие «инерция» синонимично одному из значений понятия **инертность / инерционность**.

Представим себе тяжеленный маховик который можно вращать двигателем. Причем двигатель можно либо включить, либо выключить. Если включить двигатель постоянно, то маховик раскрутится до максимального значения и будет крутиться с какой-то постоянной скоростью. Если выключить, то маховик через определенное время остановится за счет сил трения.

А если двигатель включать на десять секунд каждую минуту, то маховик раскрутится, но далеко не на полную скорость — большая инерция сгладит рывки от включающегося/выключающегося двигателя, а сопротивление от трения не даст ему крутиться бесконечно долго.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

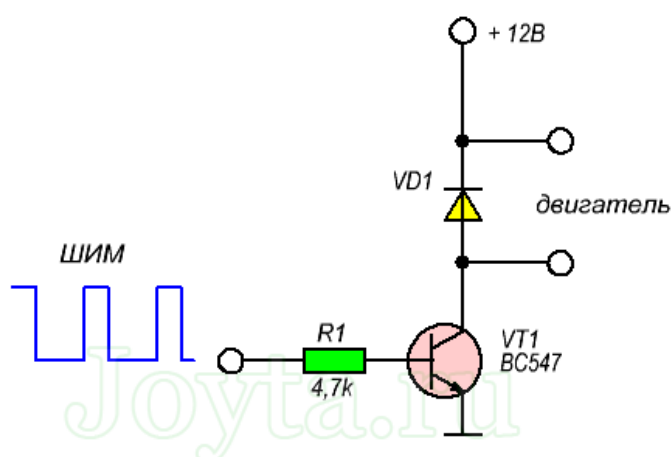
Чем больше продолжительность включения двигателя в минуту, тем быстрее будет крутиться маховик.

При цифровом ШИМ на каналы вывода подается сигнал состоящий из высоких и низких уровней (применимо к нашей аналогии — включаем и выключаем двигатель), то есть логических нулей (FALSE) и единиц (TRUE). Изменяя скважность, можно плавно управлять напряжением питания двигателя и, соответственно, скоростью вращения маховика.

Не следует слишком завышать частоту сигнала ШИМ, так как при больших частотах управляющий элемент (например, транзистор) может не успеть полностью открыться или закрыться, и схема управления будет работать не правильно. Особенно это относится к полевым транзисторам, где время перезарядки может быть относительно большое, в зависимости от конструкции.

Слишком высокая частота сигнала ШИМ также вызывает увеличение потерь на транзисторе - каждое переключение вызывает потери энергии. Управляя большими токами на высоких частотах необходимо подобрать быстродействующий транзистор с низким сопротивлением проводимости.

Управляя двигателем постоянного тока с помощью ШИМ и транзистора, следует помнить о применении диода для защиты транзистор от индукционных всплесков, появляющимся в момент выключения транзистора. Благодаря использованию диода, индукционный импульс разряжается через него и внутреннее сопротивление двигателя, защищая тем самым транзистор.



Для сглаживания всплесков питания между клеммами двигателя, можно подключить к ним параллельно конденсатор небольшой емкости (100nF), который будет стабилизировать напряжение между последовательными переключениями транзистора. Это также снизит помехи, создаваемые частыми переключениями транзистора.

Таким образом, **для построения качественного ШИМ управления рекомендуется использовать быстродействующие ключи: транзисторы и твердотельные реле.**

Ключевым показателем ШИМ является Частота.

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

Частота сигнала ШИМ выбирается из следующих соображений:

- Чем выше частота, тем выше точность регулирования.
- Частота не должна быть ниже времени реакции устройства, которым управляют с помощью ШИМ, иначе возникнут заметные пульсации регулируемого параметра.
- Чем выше частота, тем выше коммутационные потери:
 - на переключение управляющего ключа требуется время
 - чем быстрее переход ключа из одного состояния в другое, тем качественнее ШИМ
- При управлении электродвигателями частоту уводят к 25 кГц и выше
 - это пределы частот, не слышимые человеком
 - при низкой частоте возникнет неприятный свист

Эти требования часто находятся в противоречии друг к другу, поэтому выбор частоты в некоторых случаях – это поиск компромисса.

Механические реле в ШИМ применять допускается, но у данного решения есть следующие недостатки, влияющие на конечное качество управления:

- малое быстродействие / малые частоты
- быстрое механическое «старение» (износ) контактов реле
- дребезг контактов реле

Управление яркостью светодиода

Главные факторы:

- видимость мерцания
- + Чем выше частота, тем менее заметно мерцание излучаемого света
- + Чем выше частота, тем ниже влияние температурных скачков
(это оказывают негативное влияние на работу светодиода)

Частота ШИМ:

= 50 — 300 Гц

Управление двигателем (например, постоянного тока)

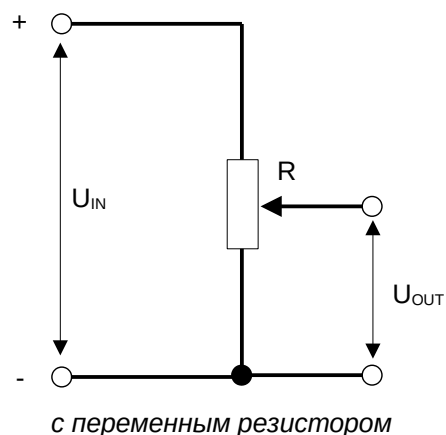
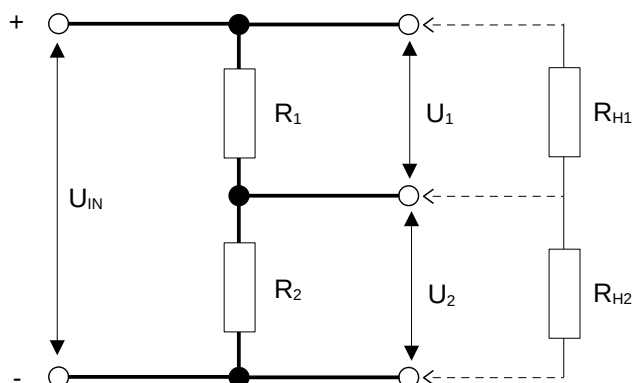
Главные факторы:

- звук работы двигателя
 - крутящий момент
- Чем ниже частота, тем громче будет работать двигатель
- + Чем больше частота, тем более плавно и менее шумно работает двигатель
- На низких частотах может быть недостаточно крутящего момента
(двигатель будет работать нестабильно или остановится)
- + Чем больше частота, тем выше стабильность среднего выходного напряжения и меньше пульсации напряжения
- На чрезмерно высоких частотах падает крутящий момент
- ! Поэтому при подборе частоты ШИМ нужен некий баланс
- Частота ШИМ:
- = 2 — 25 кГц

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДЕЛИТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ

Последовательно подключённые резисторы делят поступающее на них напряжение в определённой пропорции.



где,

U_{IN} — напряжение входное

R_1 — сопротивление 1-го делителя

U_1 — напряжение на выходе 1-го делителя

R_{H1} — сопротивление нагрузки 1-го делителя

R_2 — сопротивление 2-го делителя

U_2 — напряжение на выходе 2-го делителя

R_{H2} — сопротивление нагрузки 2-го делителя

Поскольку резисторы соединены последовательно, то ток через них будет одинаков в соответствии с первым правилом Кирхгофа. Падения напряжения на каждом резисторе по закону Ома будет пропорционально сопротивлению (ток одинаков):

$$U = I \cdot R \quad I = \frac{U}{R} \quad R = \frac{U}{I}$$

Для каждого резистора:

$$U_1 = I \cdot R_1 \quad U_2 = I \cdot R_2 \quad U = U_1 + U_2 \quad R = R_1 + R_2 \quad U_1 + U_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$$

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad U_2 = I \cdot R_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

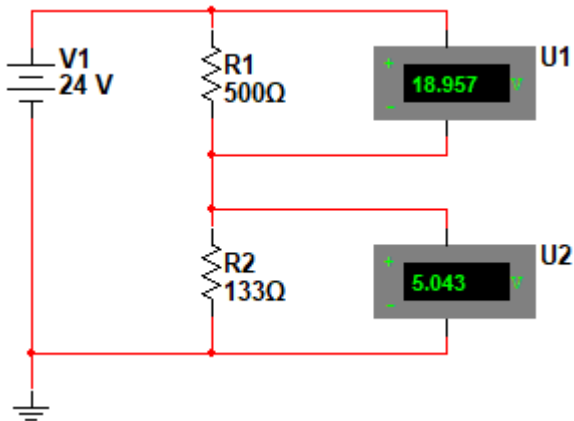
Основные требования к схеме делителя напряжения:

- $R_{H1} > R_1$
- $R_{H2} > R_2$

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

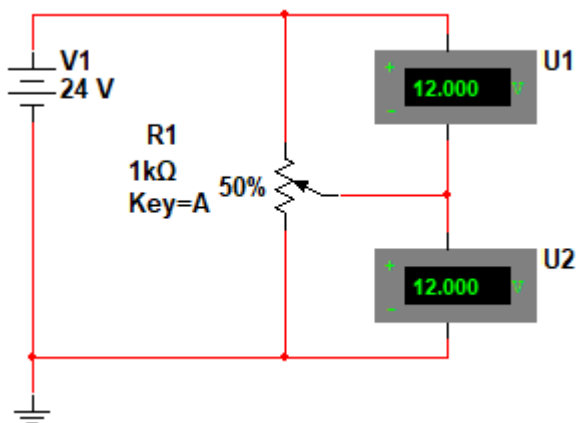
Пример 1



$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 24 \cdot \frac{500}{500 + 133} = 18,9573 \text{ В}$$

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 24 \cdot \frac{133}{500 + 133} = 5,0426 \text{ В}$$

Пример 2



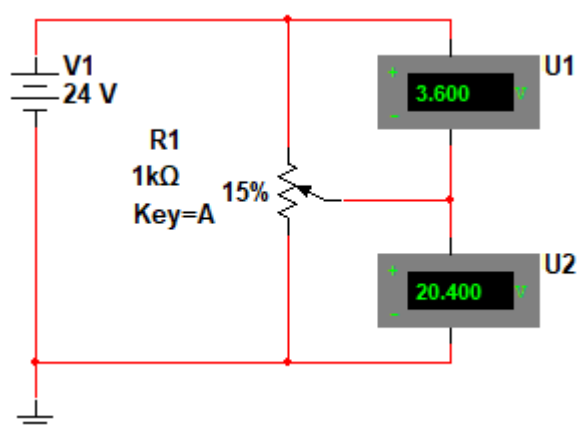
$$R_1^1 = \left(\frac{R_1}{100}\right) \cdot 50 = \left(\frac{1000}{100}\right) \cdot 50 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_1^2 = R_1 - R_1^1 = 1000 - 500 = 500 \text{ Ом}$$

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1^1}{R_1} = 24 \cdot \frac{500}{1000} = 12 \text{ В}$$

$$U_2 = U \cdot \frac{R_1^2}{R_1} = 24 \cdot \frac{500}{1000} = 12 \text{ В}$$

Пример 3



$$R_1^1 = \left(\frac{R_1}{100}\right) \cdot 15 = \left(\frac{1000}{100}\right) \cdot 15 = 150 \text{ Ом}$$

$$R_1^2 = R_1 - R_1^1 = 1000 - 150 = 850 \text{ Ом}$$

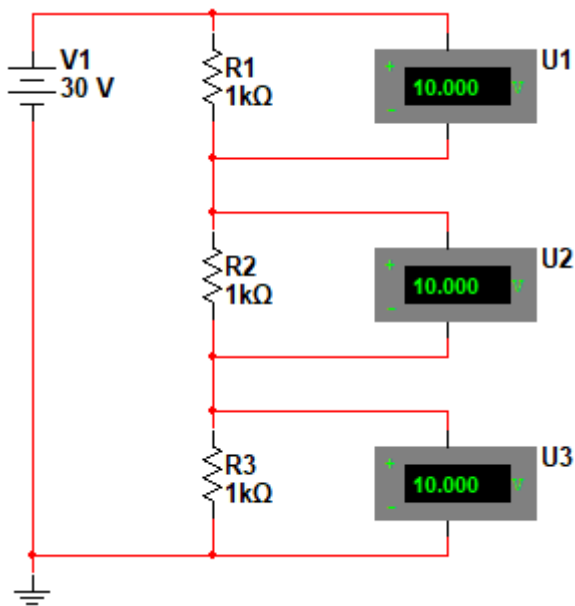
$$U_1 = U \cdot \frac{R_1^1}{R_1} = 24 \cdot \frac{150}{1000} = 3,6 \text{ В}$$

$$U_2 = U \cdot \frac{R_1^2}{R_1} = 24 \cdot \frac{850}{1000} = 20,4 \text{ В}$$

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Пример 4

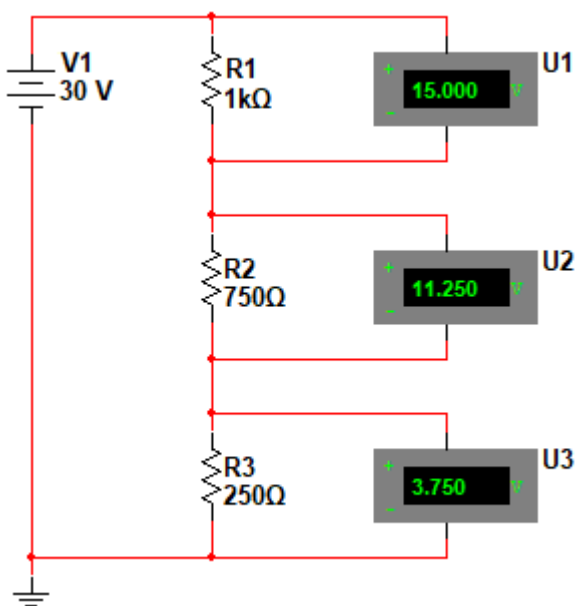


$$U_1 = I \cdot R_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{1000}{1000 + 1000 + 1000} = 10 \text{ В}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{1000}{1000 + 1000 + 1000} = 10 \text{ В}$$

$$U_3 = I \cdot R_3 = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{1000}{1000 + 1000 + 1000} = 10 \text{ В}$$

Пример 5



$$U_1 = I \cdot R_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{1000}{1000 + 750 + 250} = 15 \text{ В}$$

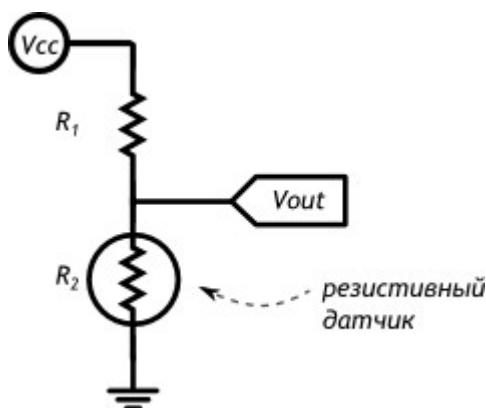
$$U_2 = I \cdot R_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{750}{1000 + 750 + 250} = 11,25 \text{ В}$$

$$U_3 = I \cdot R_3 = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 30 \cdot \frac{250}{1000 + 750 + 250} = 3,75 \text{ В}$$

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

СЧИТЫВАНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ СЕНСОРОВ

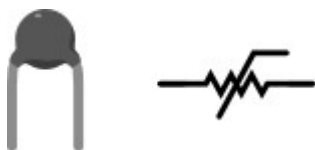
Если вместо R_2 использовать не постоянный резистор, а датчик, который меняет своё сопротивление, V_{out} будет зависеть от измеряемого значения.



Микроконтроллер умеет измерять напряжение (с помощью АЦП). Таким образом, мы можем использовать свойства делителя напряжения для получения показаний от сенсора.

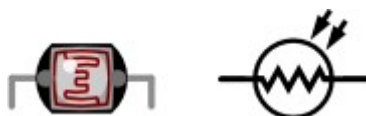
Термистор

Термистор изменяет своё сопротивление в зависимости от собственной температуры



Фоторезистор

Фоторезистор (англ. Light Dependent Resistor или сокращённо LDR) изменяет своё сопротивление в зависимости от силы света, попадающего на его керамическую «змейку».



Потенциометр

Потенциометр ещё называют переменным резистором, триммером. Это делитель из двух резисторов в одном корпусе. Поэтому у него 3 ноги: питание, выход, земля.

Соотношение R_1 и R_2 меняется поворотом ручки. От 100% в пользу R_1 до 100% в пользу R_2 .

