

**Микроконтроллеры
платформа Arduino UNO
элементы ТАУ,
потенциометр, транзистор,
ШИМ**

Элементы теории автоматического управления

- Для описания динамического поведения ЭЭС наиболее широкое применение нашли два основных подхода:
- **Метод пространства состояний** – один из основных методов описания поведения динамической системы. Движение системы отражает изменение ее состояний.
- **Метод структурных схем** – система представляется в виде схемы, содержащей основные функциональные звенья (апериодические, интегральные, пропорциональные и прочие блоки).

Метод пространства состояний

- Линейная или нелинейная динамическая система n -го порядка может быть описана в виде системы из n уравнений 1-го порядка:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \frac{dx_2}{dt} = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \end{cases}$$

Метод пространства состояний. Модель движения маятника

$$ml \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = -mg \sin \varphi(t) - kl \frac{d\varphi(t)}{dt}$$



$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = -\frac{g}{l} \sin x_1(t) - \frac{k}{m} x_2(t)$$

Метод пространства состояний. Модель станция – шины бесконечной мощности (ШБМ)

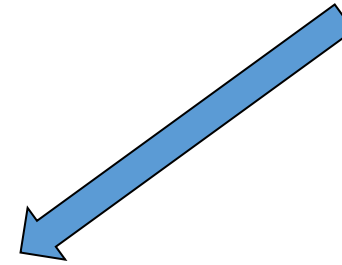
$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M}(P_m - P_G(V, \delta) - D\omega).$$



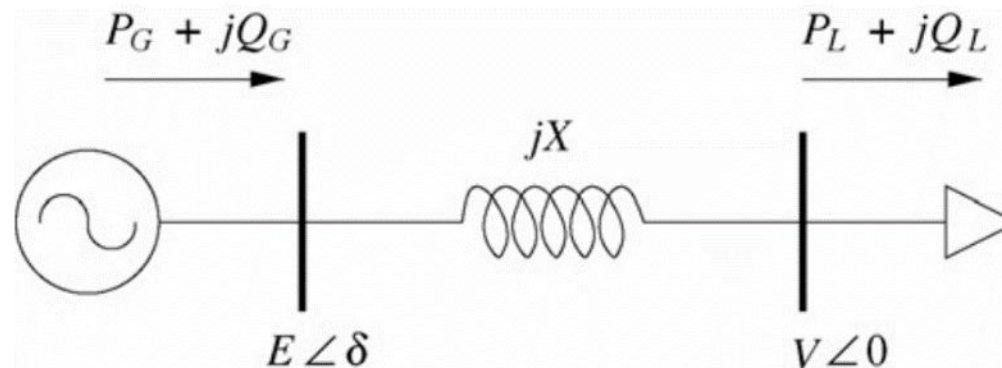
$$P_G(V, \delta) = \frac{EV}{X} \sin \delta$$

$$V \equiv \text{const}$$



$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left(P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$



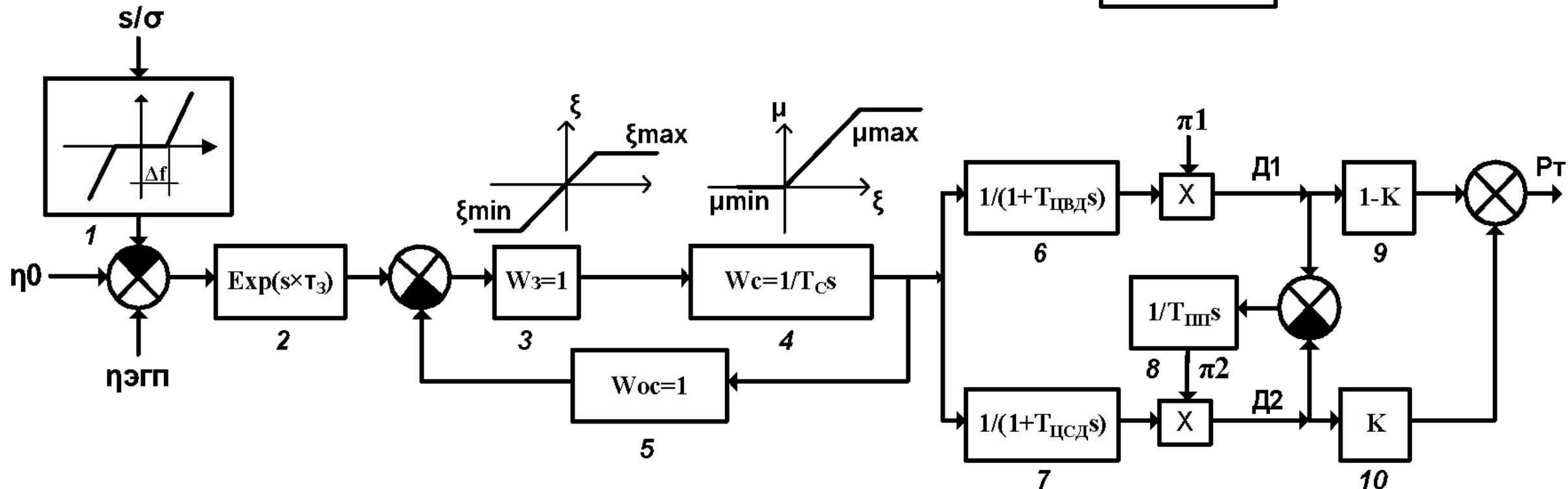
Достоинства и недостатки метода пространства состояний

- Интегрируя уравнения движения, записанные с использованием метода пространства состояний, можно анализировать динамическое поведение системы во времени.
- Однако подобная запись не дает наглядного представления о взаимодействии различных компонентов внутри системы.
Для наглядного представления взаимодействия больше подходит метод структурных схем.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \frac{dx_2}{dt} = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \end{array} \right.$$

Метод структурных схем

- Система представляется в виде схемы, содержащей основные функциональные звенья (апериодические, интегральные, пропорциональные и прочие блоки). Взаимодействия между звеньями осуществляется по принципу вход – выход



Метод структурных схем. Типовые звенья.

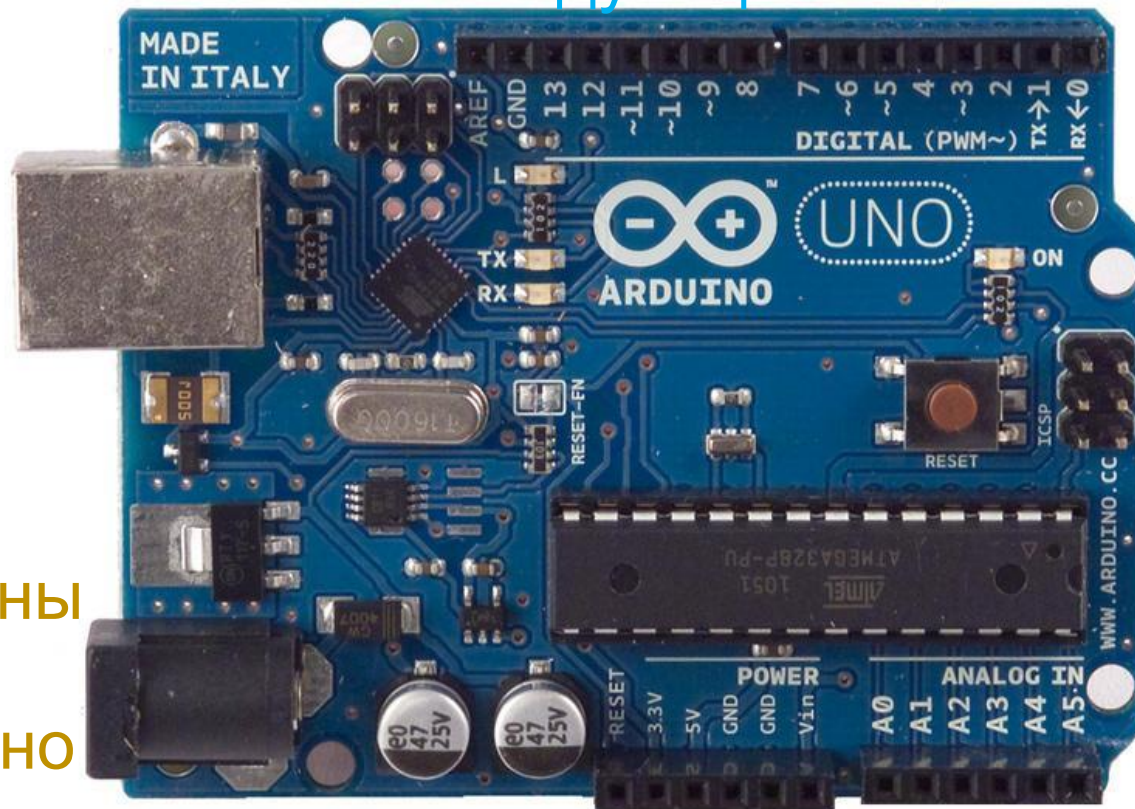
Таблица 1. Основные элементы, формирующие типовые законы регулирования в структурных схемах.

Наименование звена	Графическое представление звена	Математическое описание. <i>X</i> и <i>Y</i> – вход и выход звена в комплексной области; $x(t)$ и $y(t)$ – вход и выход звена во временной области. s – оператор Лапласа. T – постоянная времени.
Пропорциональное звено	$X \rightarrow \boxed{K} \rightarrow Y$ $K = \text{const}$	$Y = KX$ $y(t) = Kx(t)$
Апериодическое звено	$X \rightarrow \boxed{\frac{1}{(1+Ts)}} \rightarrow Y$	$Y = \frac{X}{1+Ts}$ $\frac{dy(t)}{dt} = \frac{x(t) - y(t)}{T}$
Дифференциальное звено	$X \rightarrow \boxed{\frac{T_1s}{(1+T_2s)}} \rightarrow Y$	$Y = \frac{X \cdot T_1s}{1+T_2s}$???
Интегральное звено	$X \rightarrow \boxed{\frac{1}{Ts}} \rightarrow Y$	$Y = \frac{X}{Ts}$ $\frac{dy(t)}{dt} = \frac{x(t)}{T}$

Arduino UNO

14 дискретных портов ввода/вывода (digital input/output). 0 или 1, т.е. 0 или 5 вольт.
Некоторые пины способны выполнять специфические функции. Например, пины 0 и 1 – последовательный интерфейс; 2 – ШИМ модуляция

Интерфейс с USB
для взаимодействия с ПК



Дополнительный вход для питания, можно питать от USB

МК – мозг системы
Обработка информации

Питание V_{dd} +
GND (земля)

6 аналоговых входов
(analog inputs)

Без «железа». 123D CIRCUITS

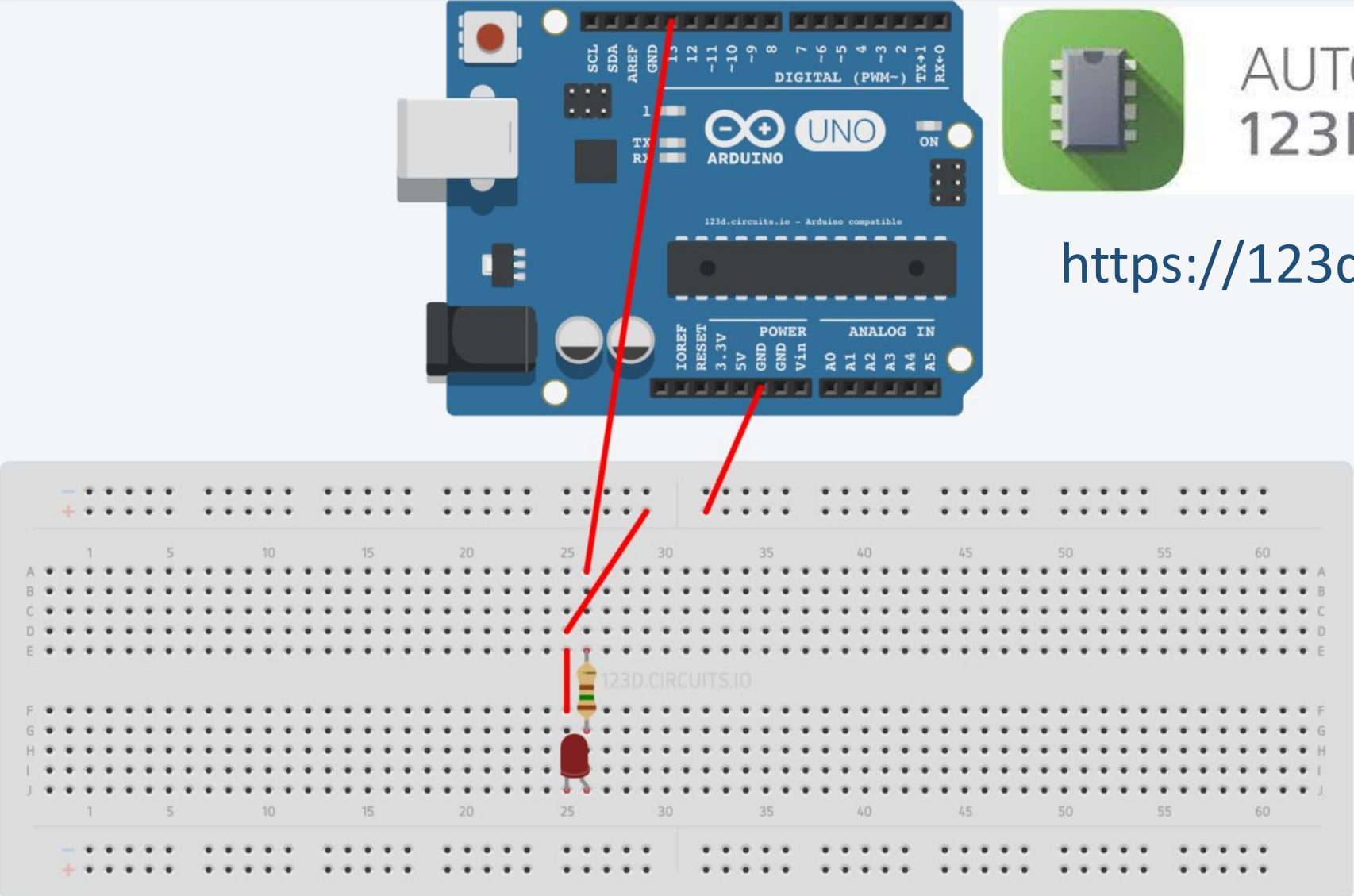
Аудиозаписи Gol Даниил Панасеи Входящие (15) - Многозадачность Диалоги 123D Circuits x 123D Circuits +

123d.circuits.io 123D Circuits

The Unnamed Circuit

All changes saved

Code Editor + Components Start Simulation

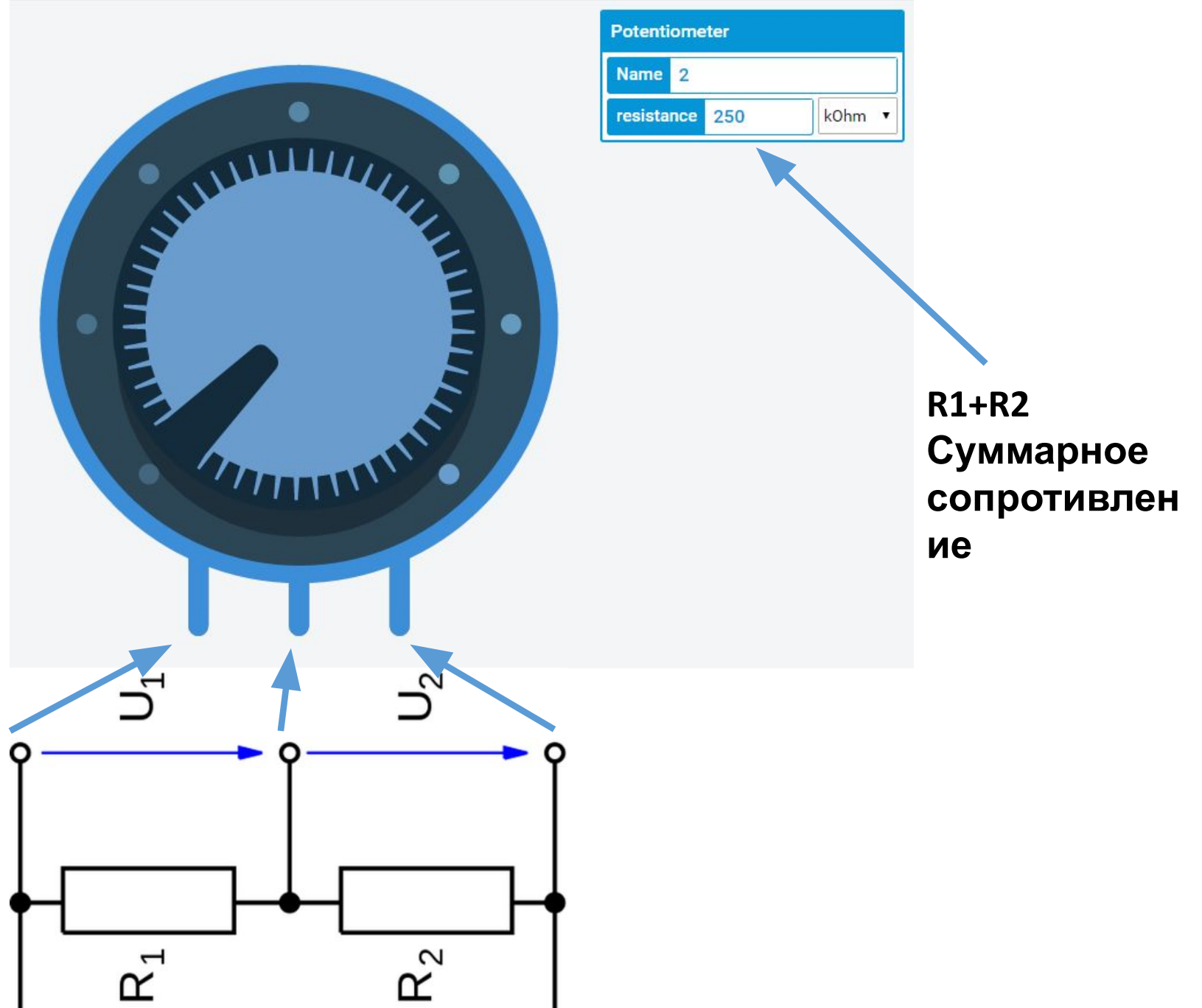


123d.circuits.io - Arduino compatible

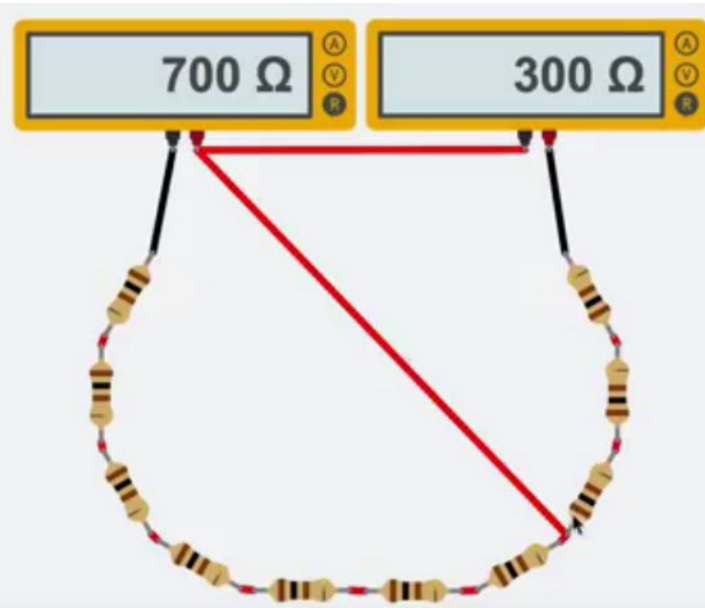
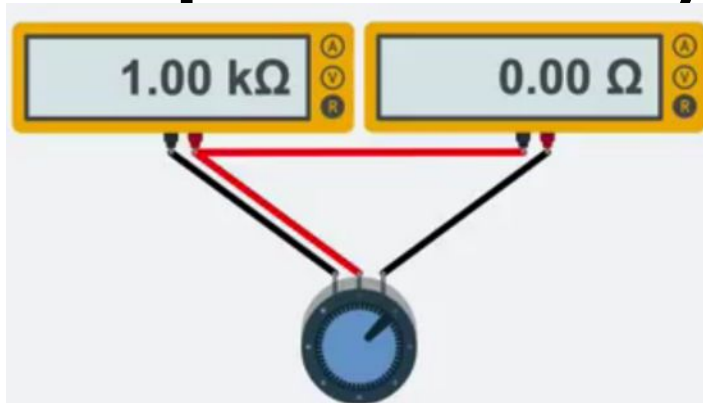
123D.CIRCUITS.IO

<https://123d.circuits.io/>

Потенциометр



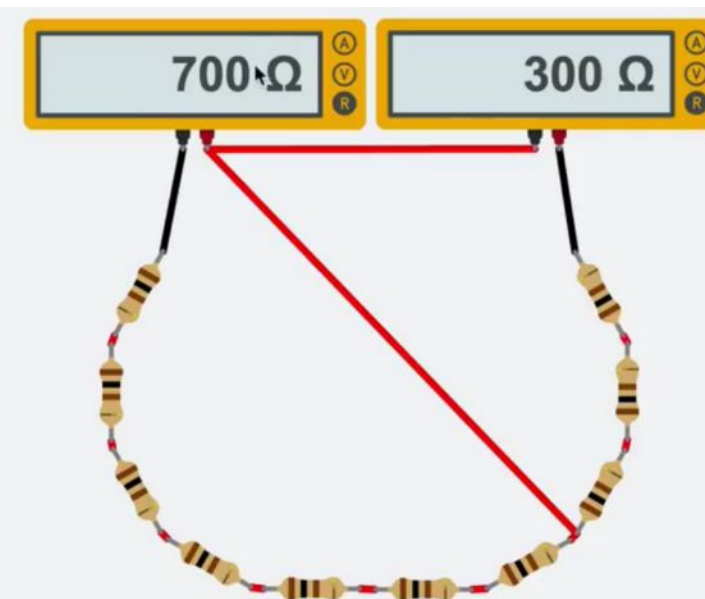
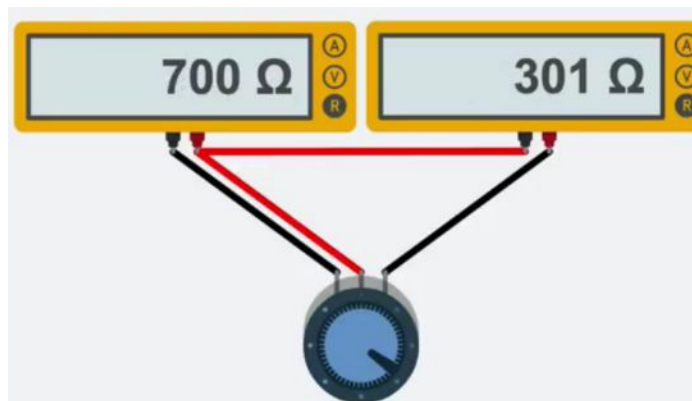
Потенциометр = варистор (переменное сопротивление)



Чаще всего
потенциометр
используют в качестве
делителя напряжения:

$$U1/U2=R1/R2$$

Поворот регулятора
позволяет выставить
необходимое
соотношение
сопротивлений.

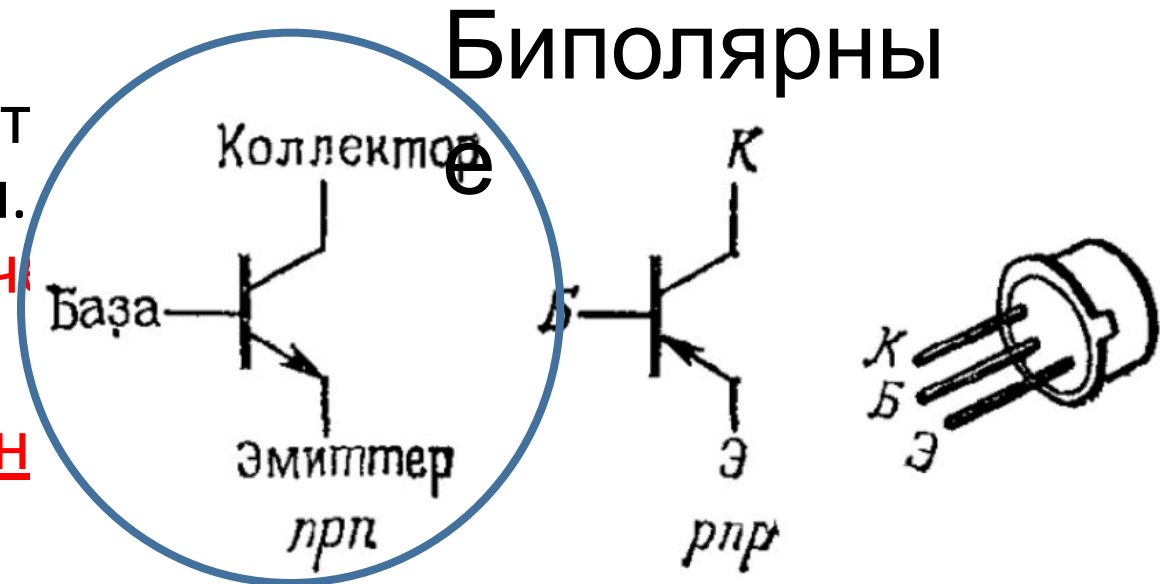


Транзисторы

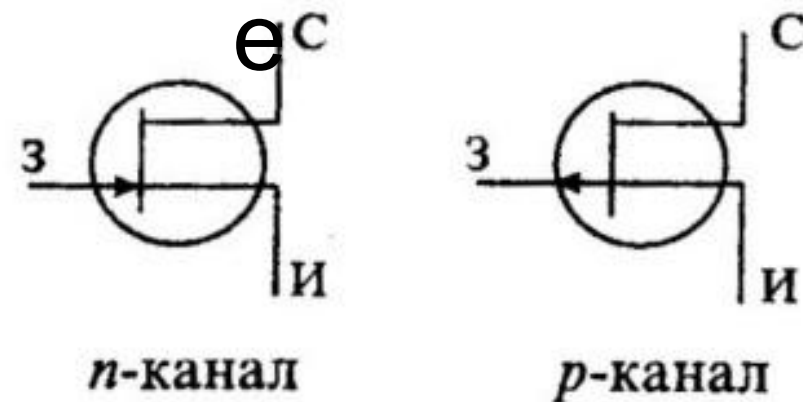
- Транзистор – устройство, которое может усиливать входной сигнал по мощности. **Увеличение мощности происходит за счет внешнего источника питания.**

- Для биполярного NPN транзистора можно записать следующие правила:

- Коллектор имеет больший потенциал, чем эмиттер.
- Транзистор характеризуется максимальными значениями I_k , I_b , $U_{кэ}$ и т.д., превышение данных величин недопустимо!!! (допустимо только раз 😊)
- Ток I_k пропорционален току I_b . **Не забывая о правиле 1**, можно примерно записать следующее выражение: $I_k = h \cdot I_b$. Как правило, $h = 50-250$.

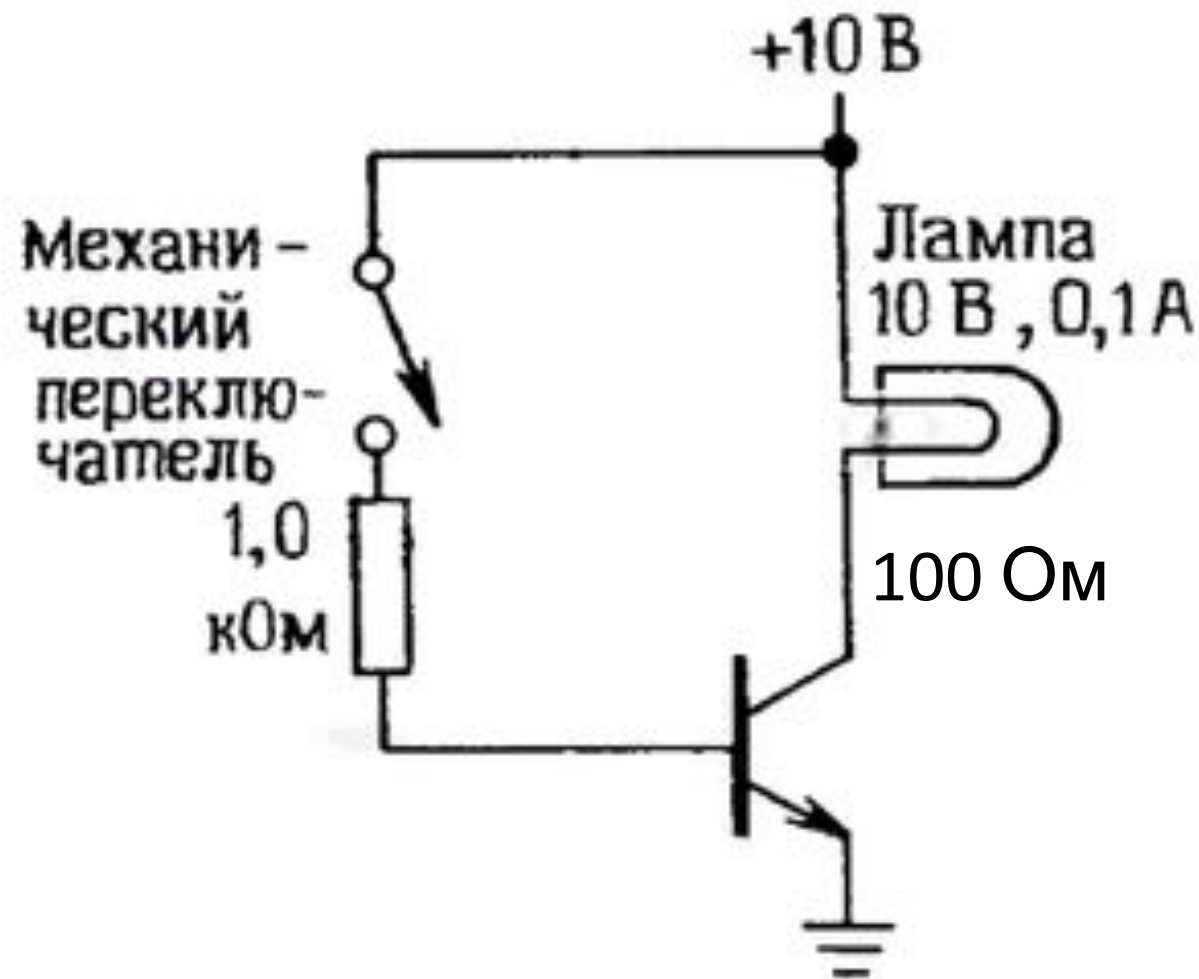


Полевые



Транзисторный переключатель

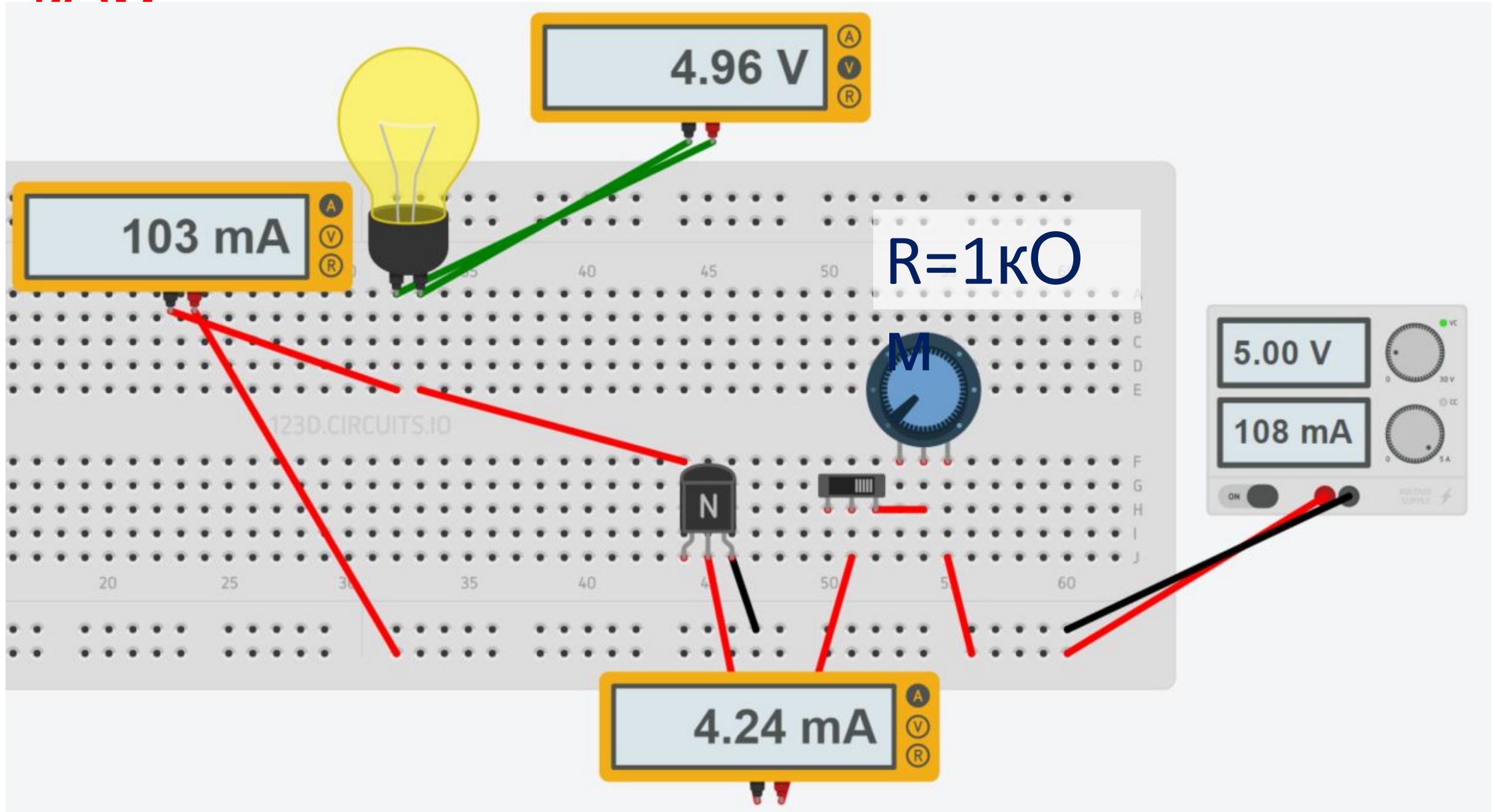
- **Транзисторный переключатель** – схема, которая с помощью небольшого управляющего тока может создавать в другой схеме ток значительно большей величины.



Транзисторный переключатель

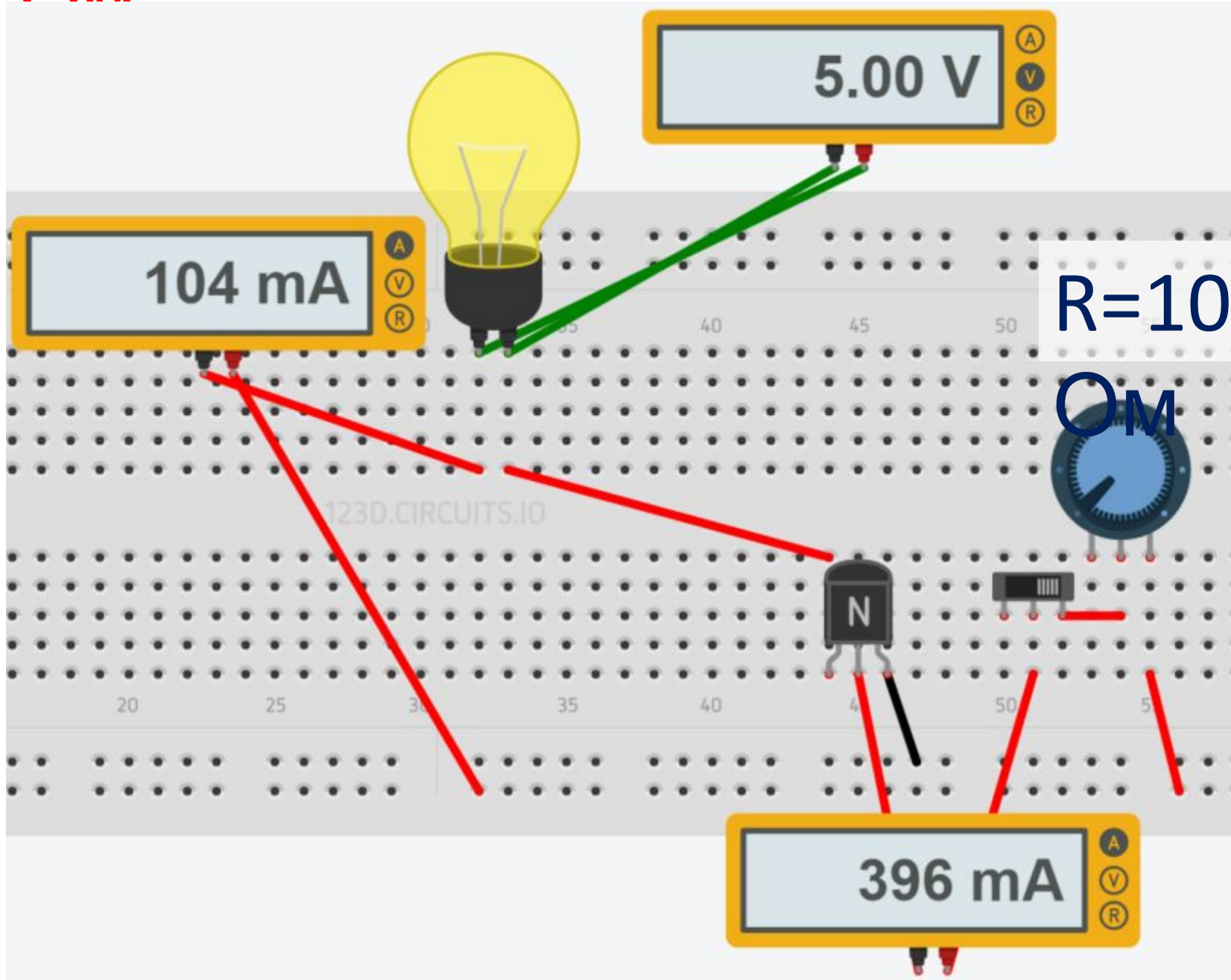
- **Переключатель разомкнут.** Ток базы отсутствует, следовательно, отсутствует и ток коллектора: $I_k = h * I_b = h * 0 = 0$.
- **Переключатель замкнут.** Напряжение на базе примерно 0.6 В (стандартное напряжение перехода база - эмиттер). Падение напряжения на резисторе составит (10-0.6=9.4 В). Ток базы равен $9.4/1000=9.4$ мА.
- Применяя «в лоб» выражение $I_k = h * I_b$, и, полагая, что $h=100$, можно ошибочно получить, что $I_k = 100 * 9.4 = 940$ мА = 0.94 А. **Это неверно!** Правило $I_k = h * I_b$ выполняется до тех пор, пока транзистор не перешел в режим насыщения, т.е. до тех пор, пока коллектор имеет больший потенциал, чем эмиттер (как правило, разница должна быть больше $U_k > U_{э} + 0.2$, $U_{э} = 0$ (земля), $U_k > 0.2$). Если $I_k = 1$ А, то потенциал коллектора должен быть равен -90В (**минус!**), что существенно меньше потенциала эмиттера, который равен потенциалу земли (0 В). Тогда $I_{kmax} = 9.8 \text{ В} / 100 \text{ Ом} = 0.1 \text{ А}$. Если $h=100$, то $I_b = 0.1 \text{ А} / 100 = 1 \text{ мА}$. **Таким образом, на базе достаточно резистора 10 кОм и тока 1мА, чтобы получить $I_k = 0.1 \text{ А}$.**

Транзисторный переключатель. Пример. $R=1$



Транзисторный переключатель. Пример. $R=10$

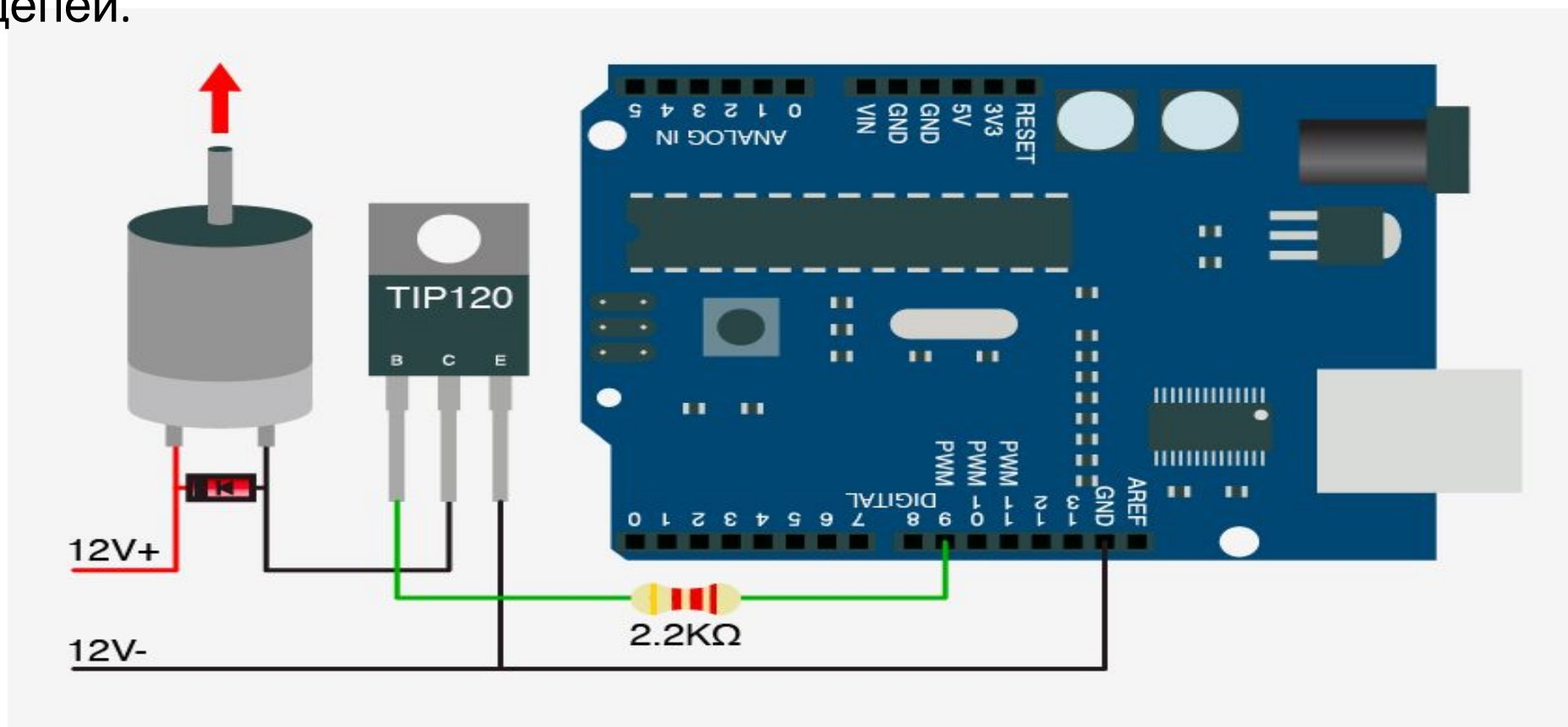
Ом



- Незначительный ток базы (порядка 5 мА) может коммутировать в 20 раз больший ток коллектора (порядка 100 мА)
- Последующее увеличение тока базы в 100 раз не приведет к уменьшению тока коллектора.

Зачем нам все это?

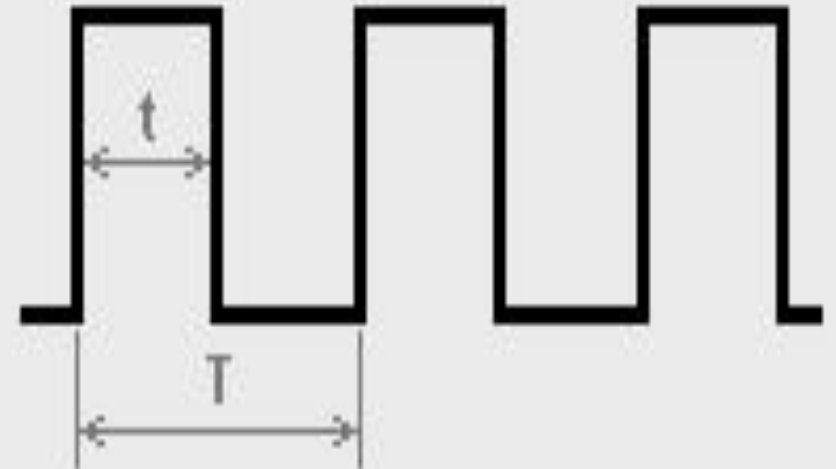
- Дискретные выходы Arduino UNO рассчитаны на максимальный ток в **40мА**. Этого достаточно для того, чтобы зажечь светодиод, но недостаточно для того, чтобы, например, управлять двигателем (десятки ампер) или лампой накаливания.
- Использование транзистора позволяет коммутировать цепи высокой мощности, используя сигналы слабой мощности с дискретных выходов микроконтроллера.
- Однако и в этом случае не совсем понятно, **зачем использовать транзистор для коммутации**. Проще использовать электромеханическое реле, которое в состоянии не только коммутировать цепи высокой мощности, но и обеспечит гальваническую развязку цепей.



ШИМ широтно-импульсная модуляция

- Широтно-импульсная модуляция (PWM pulse-width modulation) – управление средним значением напряжения на нагрузке путем изменения **скважности** импульсов, управляющих **ключом**.
- **Скважность (импульсов) S** - отношение периода следования (повторения) импульса к его длительности $S=T/t$. Коэффициент заполнения **D** – величина обратная скважности $D=1/S$ – коэффициент заполнения.
- **В качестве ключей, как правило, используются транзисторы.**
Электромеханические реле не подходят, так как не в состоянии обеспечивать высокочастотные переключения (высокая инертность электромех. реле + ненадежность механических частей).

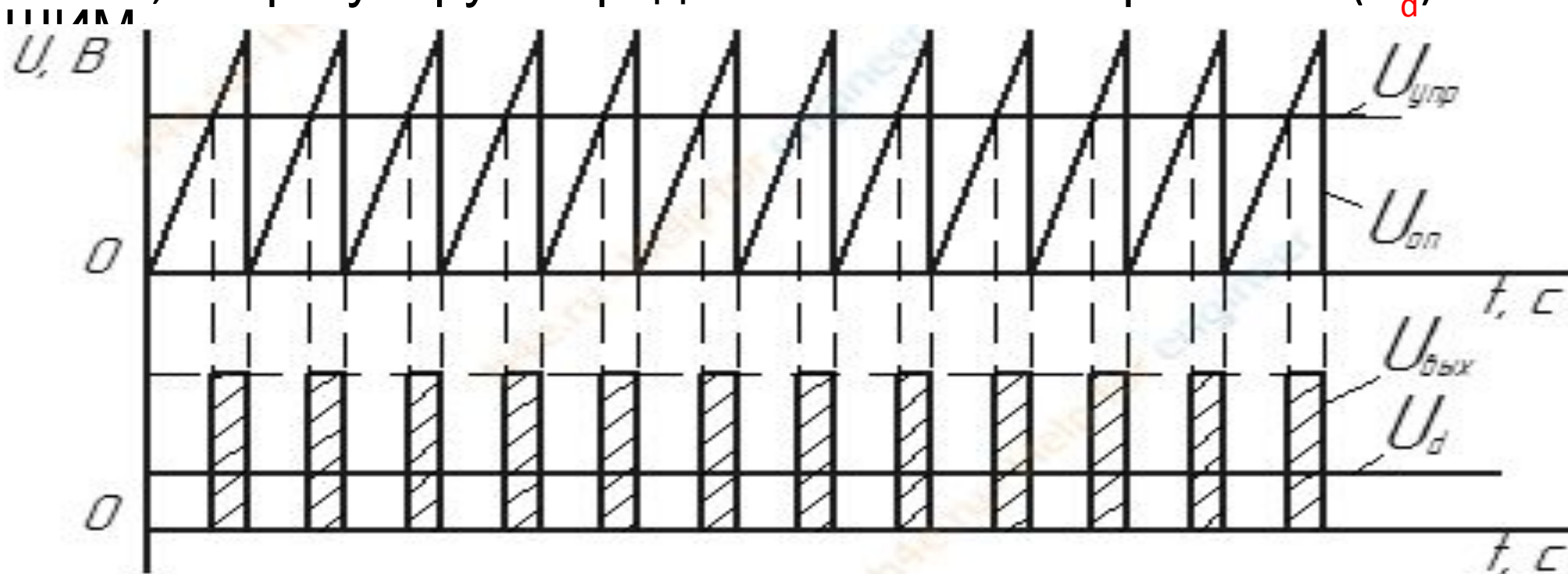
D: 0%



ШИМ широтно-импульсная модуляция.

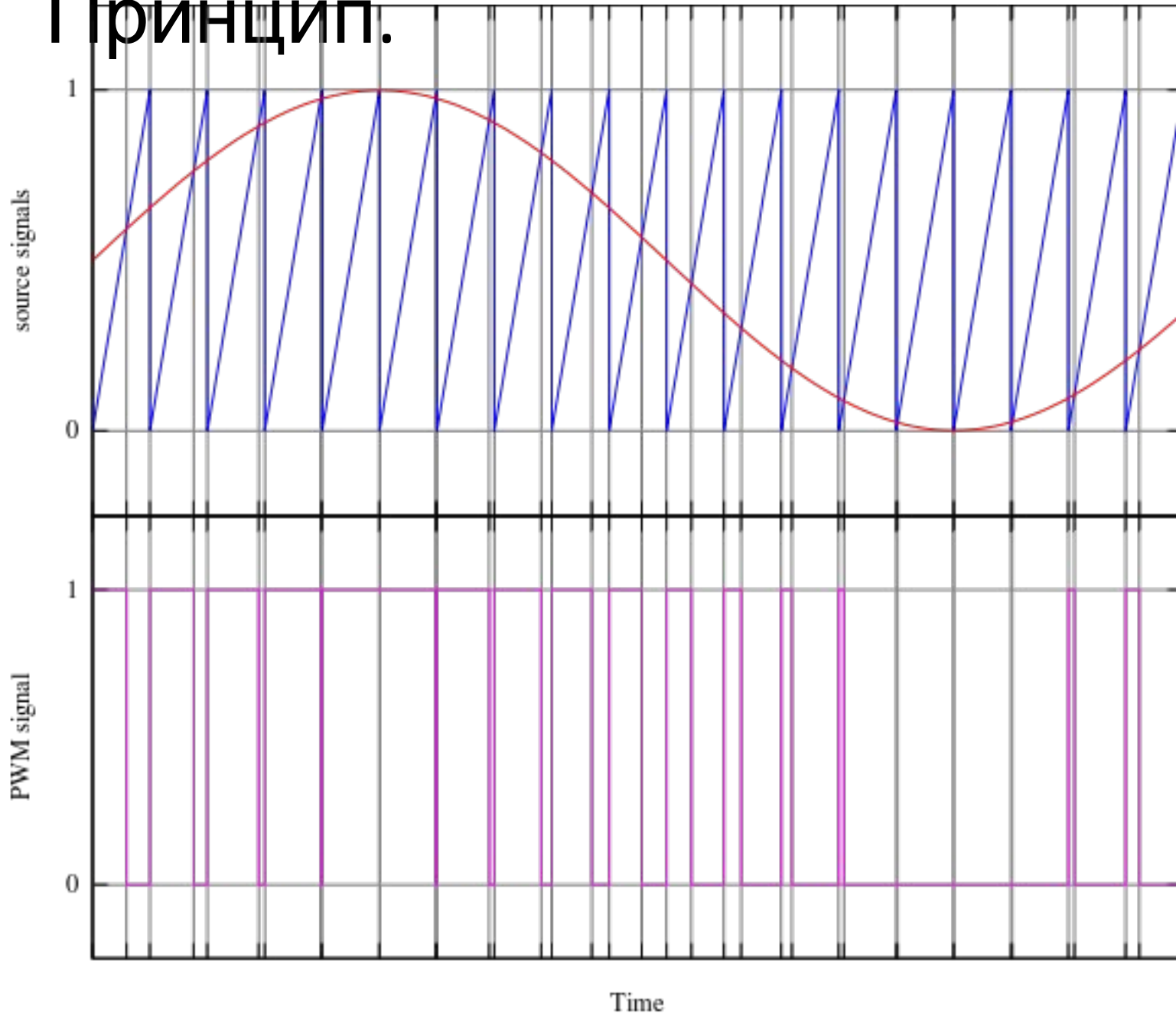
Принцип.

- $U_{оп}$ – опорное (пилообразное, треугольное) напряжение;
- $U_{упр}$ – модулирующее напряжение (например постоянное напряжение).
- Сигналы поступают на компаратор, где они сравниваются, а при их пересечении **возникает / исчезает** (или становится отрицательным, это не наш случай!) сигнал на выходе ШИМ.
- Выходное напряжение $U_{вых}$ ШИМ имеет вид импульсов, изменяя их длительность, мы регулируем среднее значение напряжения (U_d) на выходе



ШИМ широтно-импульсная модуляция.

Принцип.

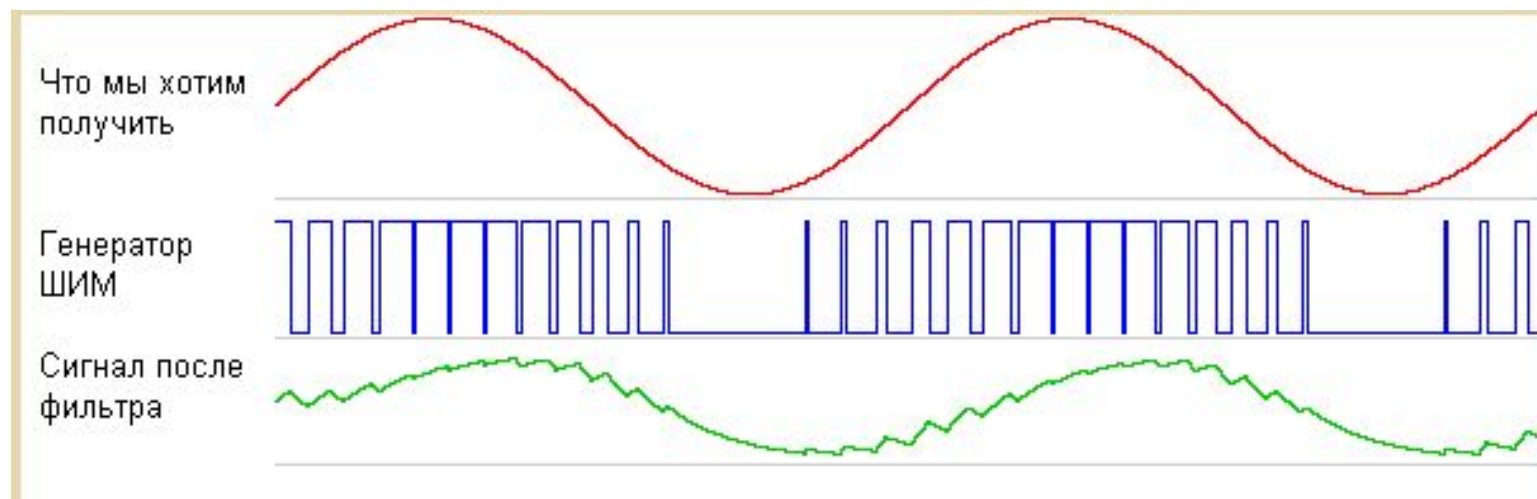
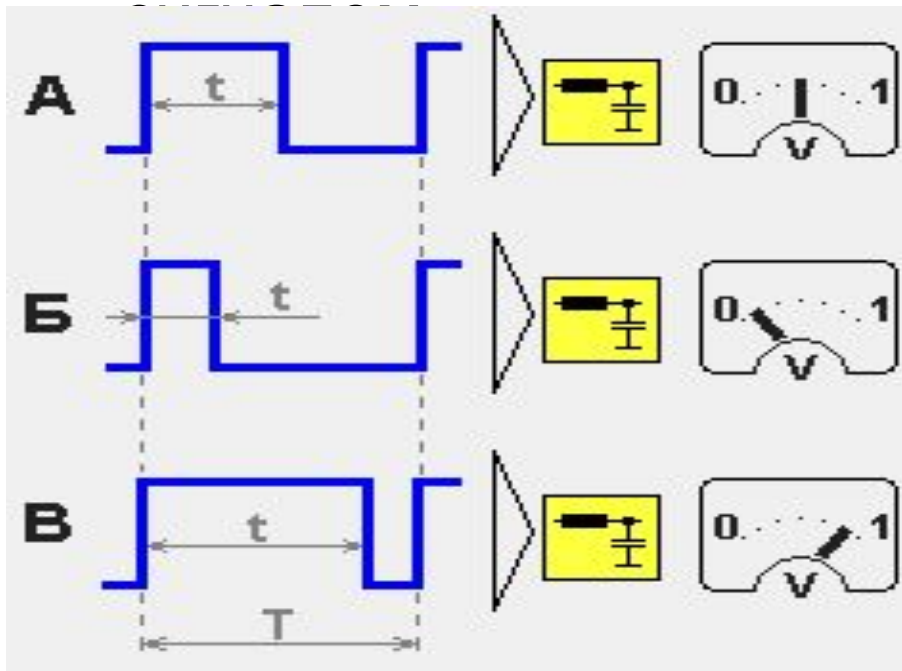


- В общем случае модулирующее напряжение может быть произвольной формы.
- Синусоидальное модулирующее напряжение широко используется в частотно-регулируемых приводах, передачах и вставках постоянного тока для генерации гармонического сигнала заданной частоты и амплитуды.

ШИМ широтно-импульсная модуляция.

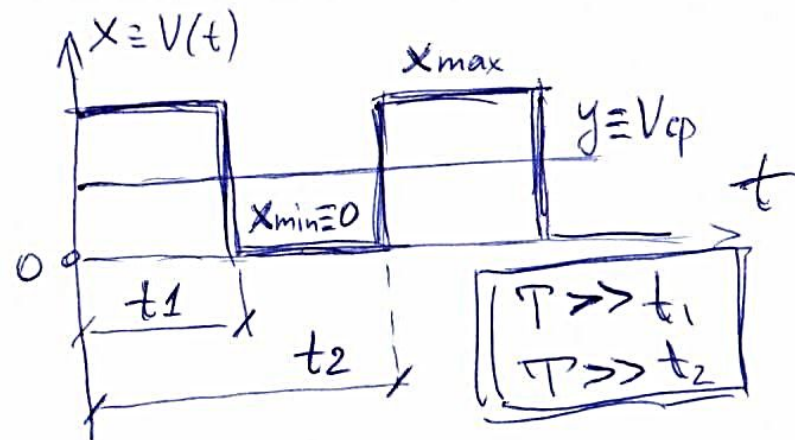
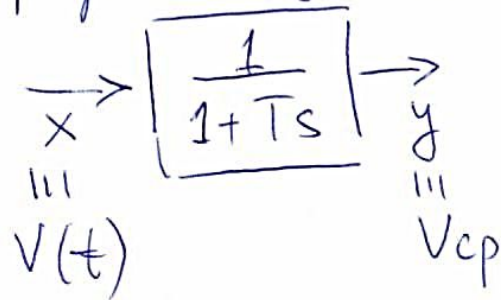
Принцип.

- Однако не совсем понятно, как связан получаемый импульсный сигнал различной скважности с усредненным напряжением.
- Исходный аналоговый сигнал восстанавливается арифметическим усреднением импульсов за много периодов при помощи простейшего фильтра низких частот. Хотя обычно даже этого не требуется, так как электромеханические составляющие привода обладают индуктивностью, а объект управления (ОУ) — инерцией, импульсы с выхода ШИМ сглаживаются и ОУ, **при достаточной частоте ШИМ-сигнала**, ведёт себя как при управлении обычным аналоговым



ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ СКВАЖНОСТИ ШИМ¹

¹ аperiodическое звено.



$$\frac{dy}{dt} = \frac{X - y}{T}$$

$$\int_0^{t_2} \frac{X - y}{T} dt = \int_0^{t_2} dy$$

$$\left| \int_0^{t_2} \frac{X dt}{T} - \int_0^{t_2} \frac{y dt}{T} = \int_0^{t_2} dy \right|$$

$$\textcircled{1} \frac{1}{T} \int_0^{t_2} X dt = \frac{S_1}{T} = \left\{ \begin{array}{l} S_1 - \text{площадь} \\ X \text{ за период} \end{array} \right\} = \frac{X_{max} t_1}{T}$$

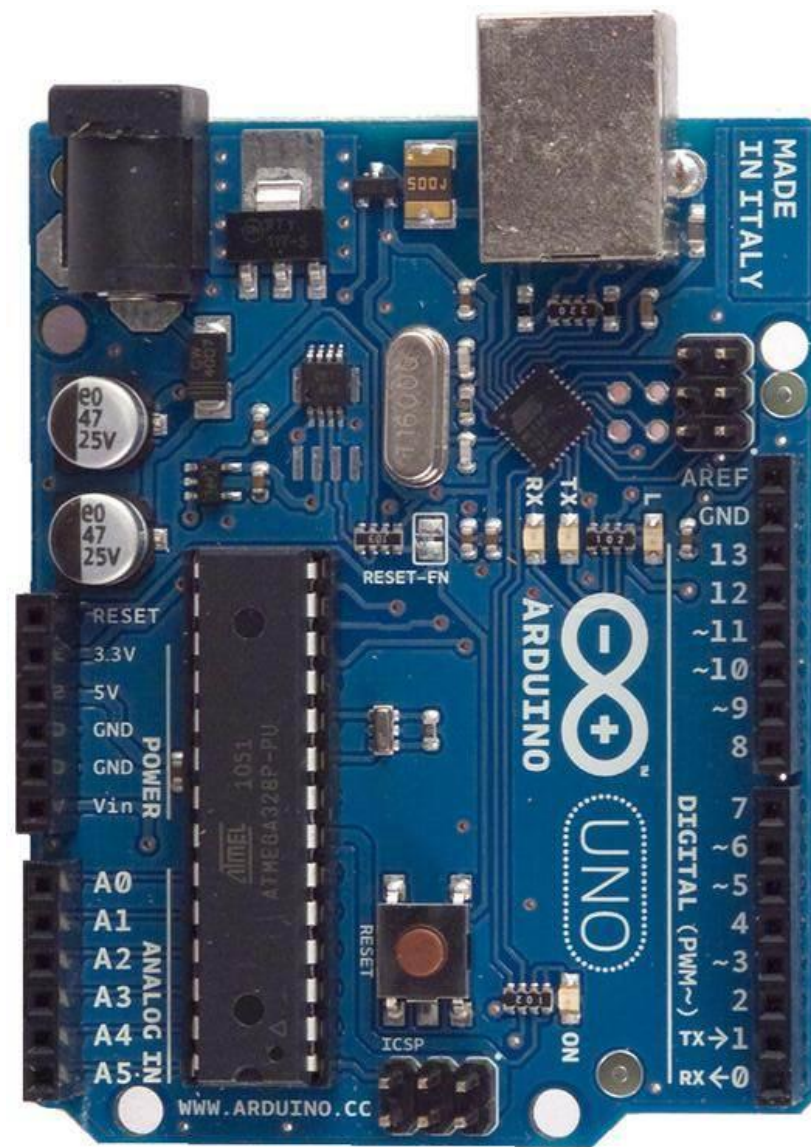
$$\textcircled{2} \frac{1}{T} \int_0^{t_2} y dt = \frac{S_2}{T} = \left\{ \begin{array}{l} S_2 - \text{площадь} \\ y \text{ за период} \end{array} \right\} = \frac{y t_2}{T}$$

$$\textcircled{3} \int_0^{t_2} dy = y \Big|_0^{t_2} = y(t_2) - y(0) = 0$$

$$\frac{X_{max} t_1}{T} - \frac{y t_2}{T} = 0; \quad X_{max} t_1 = y t_2; \quad y = \frac{X_{max} t_1}{t_2}; \quad \boxed{V_{cp} = V_{max} \frac{t_1}{t_2}}$$

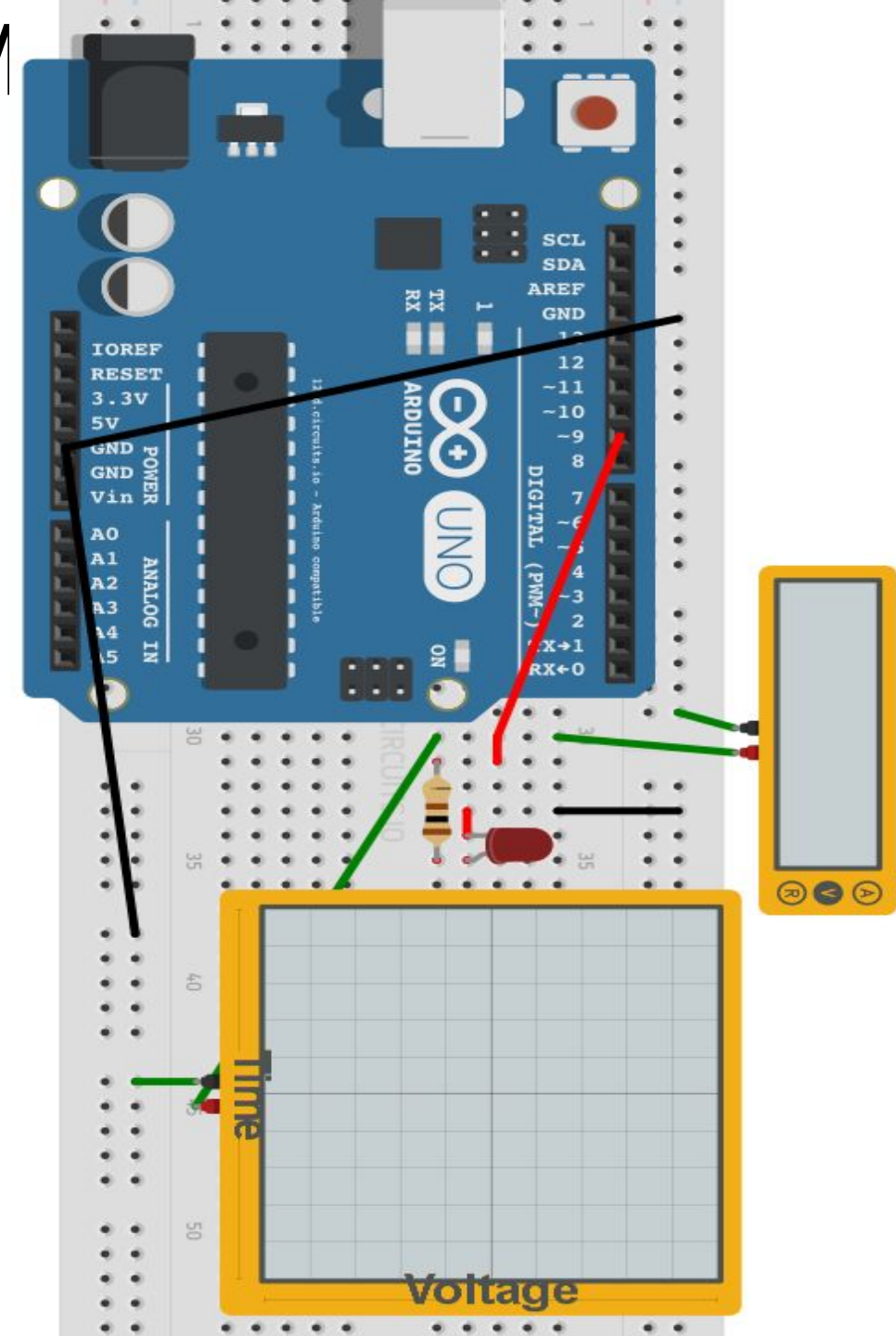
Реализация ШИМ на Arduino UNO

- 6 из 14 цифровых (дискретных) входов/выходов Arduino UNO могут использоваться как **выходы ШИМ**. Данные пины помечены символом тильда «~». Для Arduino Uno это пины 3, 5, 6, 9, 10, 11.
- Для реализации ШИМ используется функция **`analogWrite(pin, value)`**, которая не возвращает никакого значения и принимает два параметра:
 - **pin** — номер порта, на который мы отправляем сигнал
 - **value** — значение коэффициента заполнения (***D***) ШИМ, которое мы отправляем на порт. Value может принимать целочисленное значение от 0 до 255, где 0 — это 0% ***D***, а 255 — это 100% ***D***

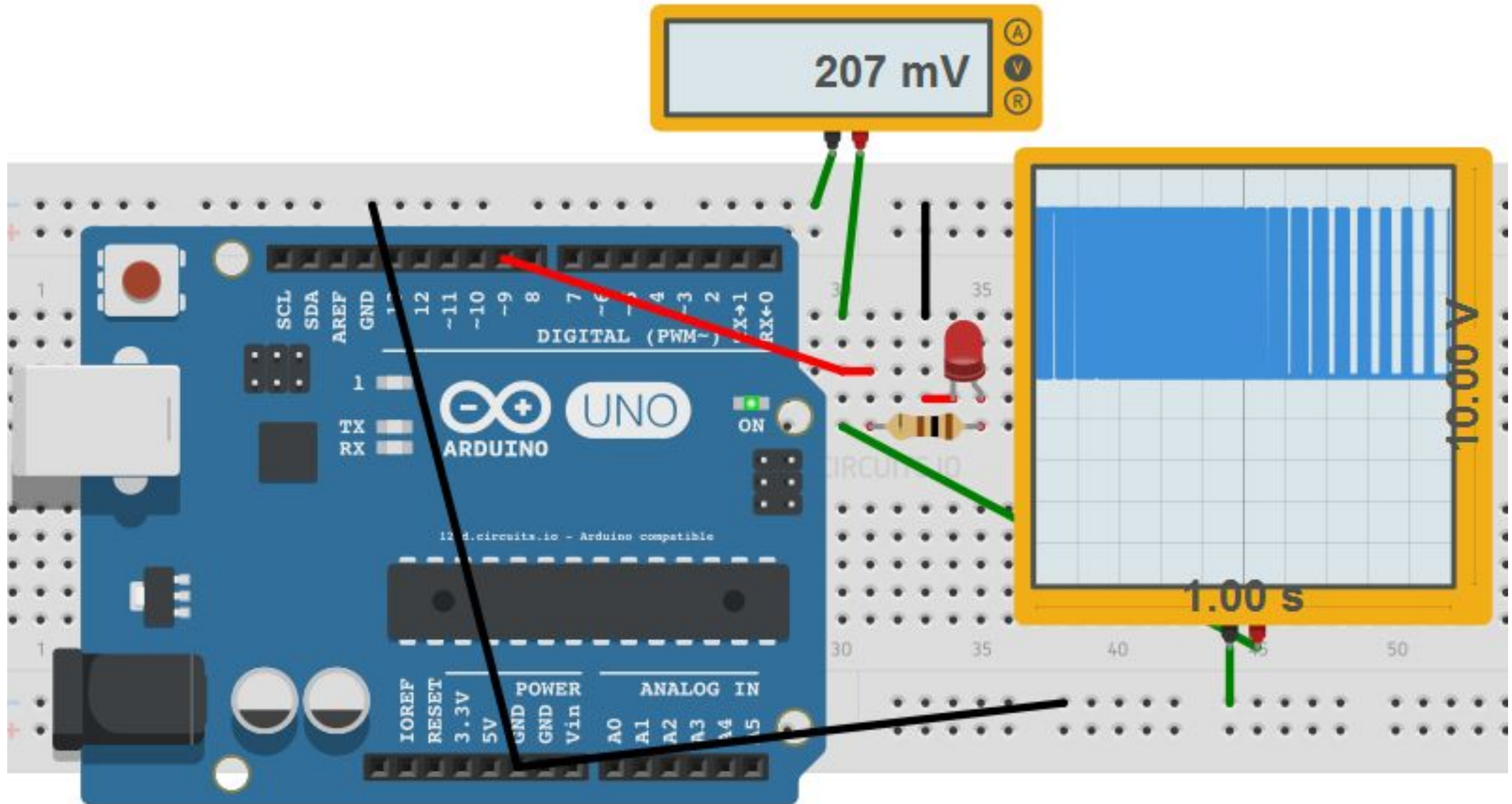


Мигающий светодиод на ШИМ

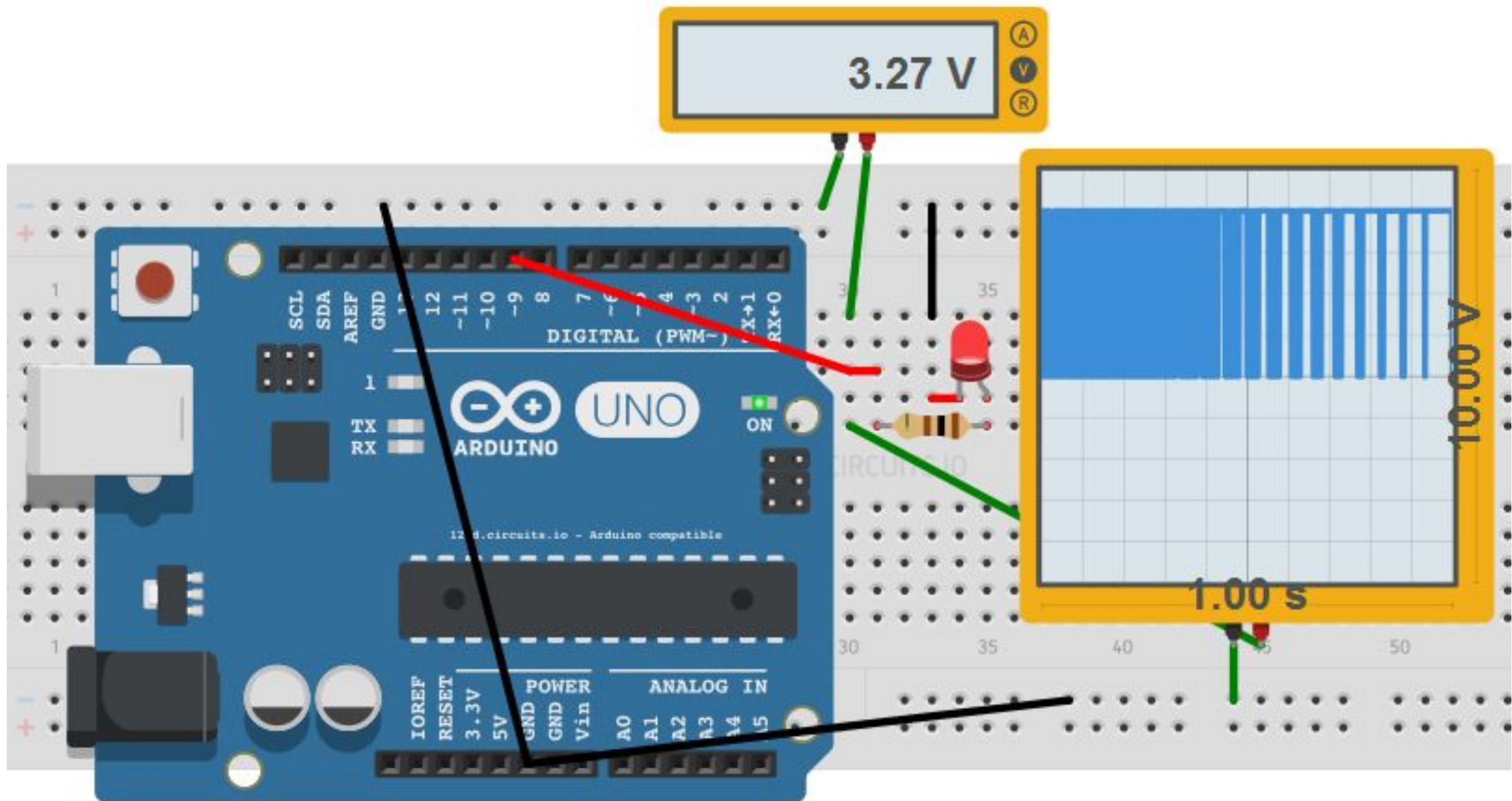
```
int ledPin = 9; //Номер пина с ШИМ
void setup() { //Ничего не происходит
}
void loop() {
  for (int fadeValue = 0; fadeValue <= 255; fadeValue += 5) {
    // увеличиваем fadeValue с 0 до 255
    analogWrite(ledPin, fadeValue);
    // ожидаем 30 миллисекунд, чтобы эффект был виден
    delay(30);
  }
  for (int fadeValue = 255 ; fadeValue >= 0; fadeValue -= 5) {
    // уменьшаем fadeValue 255 до 0):
    analogWrite(ledPin, fadeValue);
    // ожидаем 30 миллисекунд, чтобы эффект был виден
    delay(30);
  }
}
```



Мигающий светодиод на ШИМ



Мигающий светодиод на ШИМ



Домашнее задание

- для тех, кто еще не зарегистрировался!
Зарегистрироваться на сайте
<https://123d.circuits.io/>
- Собрать и поэкспериментировать со схемой «мигающий светодиод на ШИМ»
- Изучить материал презентации