

**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:

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

Метод 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)

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

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

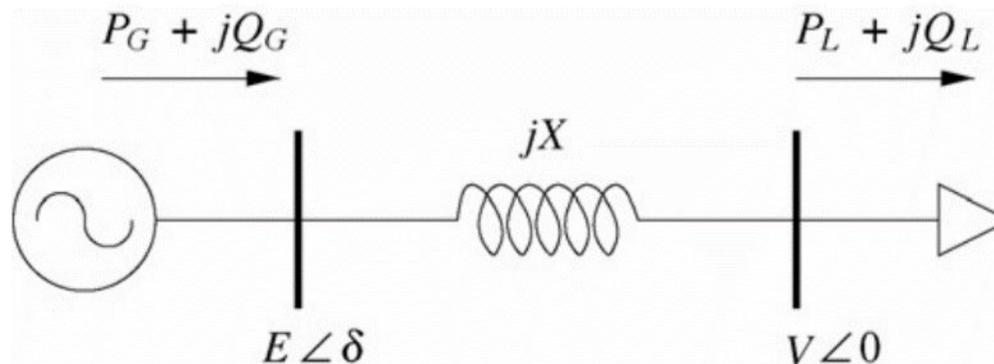
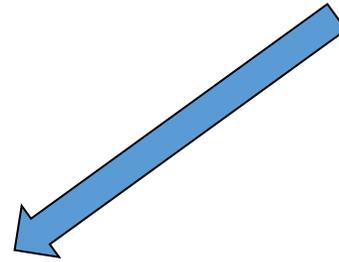


$$P_G(V, \delta) = \frac{EV}{X} \sin \delta$$

$$V \equiv const$$

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

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



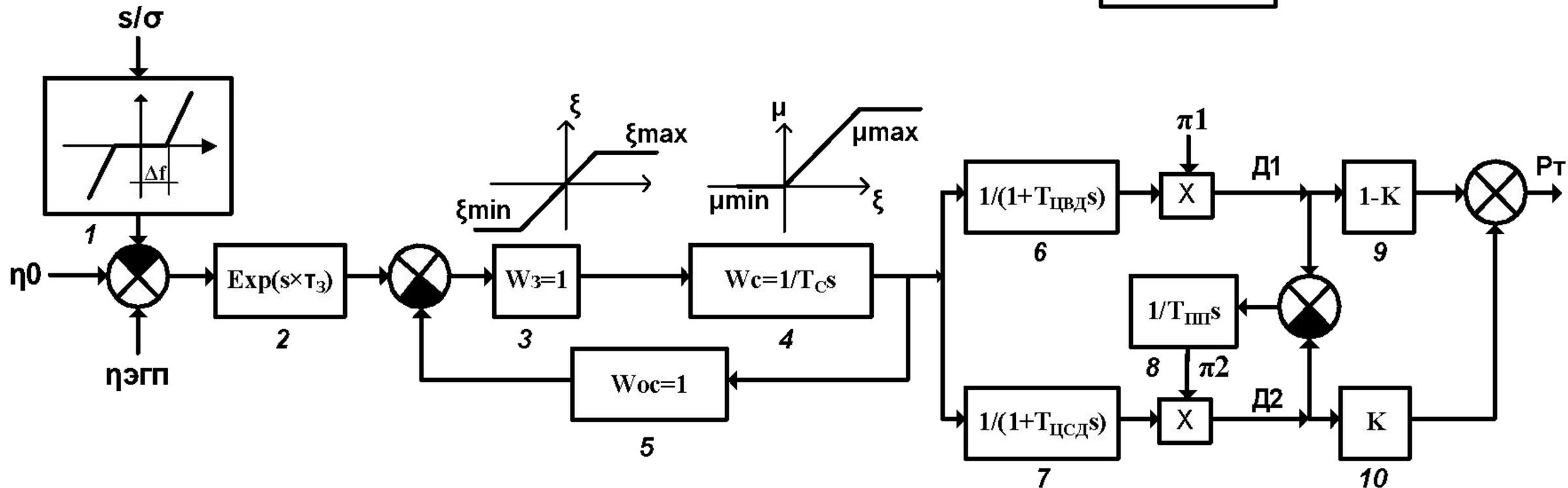
Достоинства и недостатки метода пространства состояний

- 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	$X \rightarrow \boxed{\frac{T_1s}{(1+T_2s)}} \rightarrow Y$	$Y = \frac{X \cdot T_1s}{1+T_2s}$ <p style="text-align: center; color: red;">???</p>
Интегральное звено	$X \rightarrow \boxed{1/(Ts)} \rightarrow Y$	$Y = \frac{X}{Ts}$ $\frac{dy(t)}{dt} = \frac{x(t)}{T}$

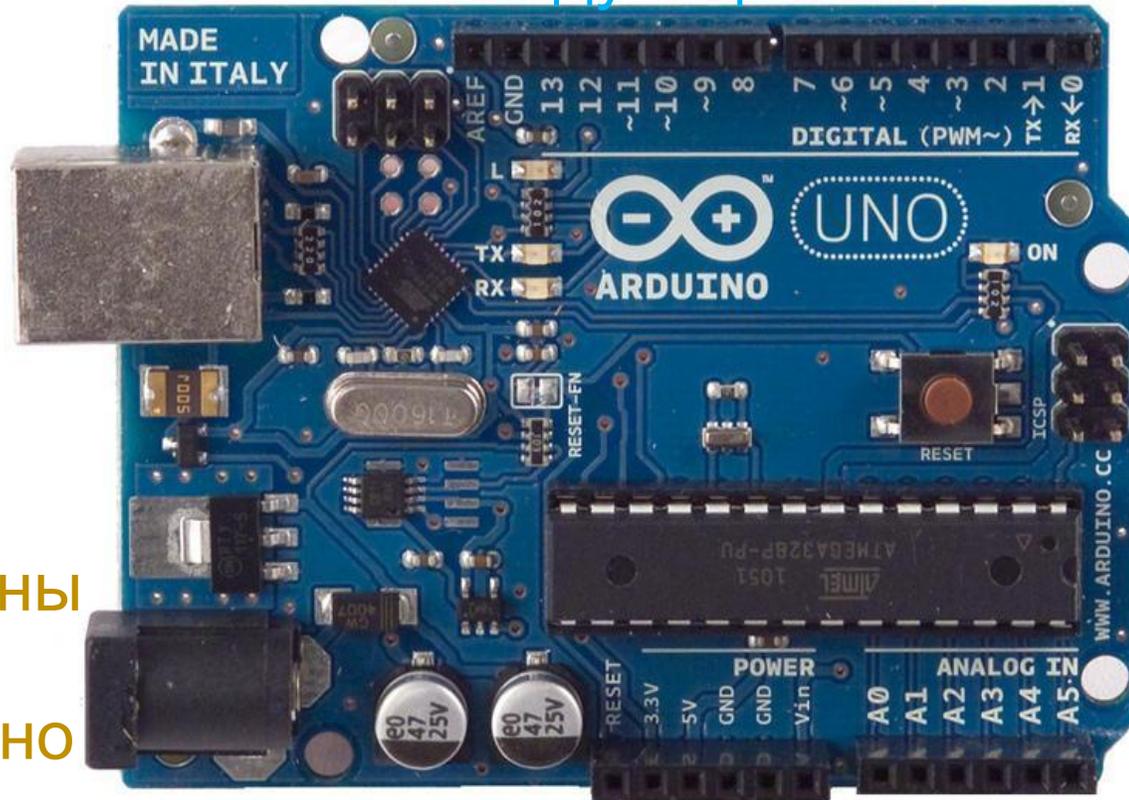
Arduino UNO

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

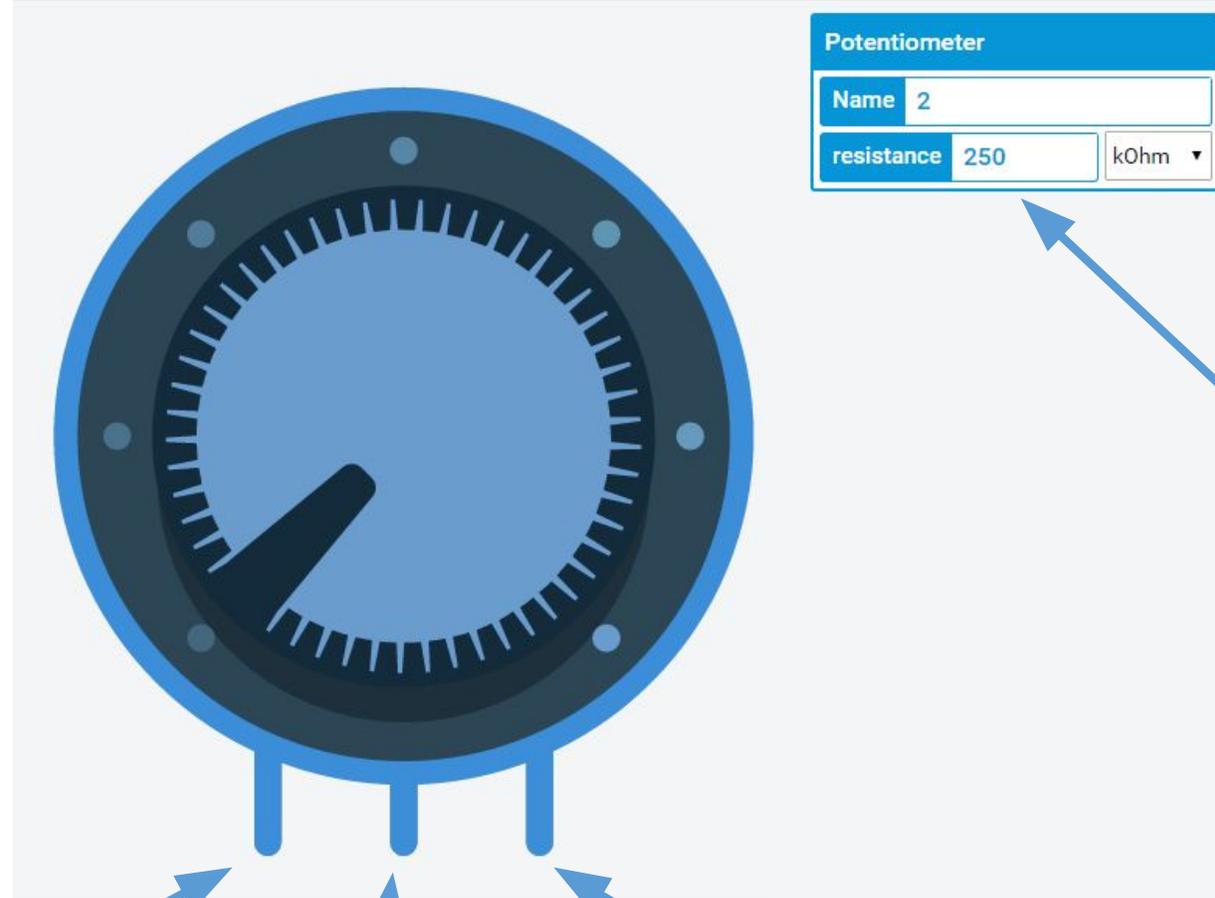
Питание V_{dd} + GND (земля)

6 аналоговых входов (analog inputs)

Без «железа». 123D CIRCUITS

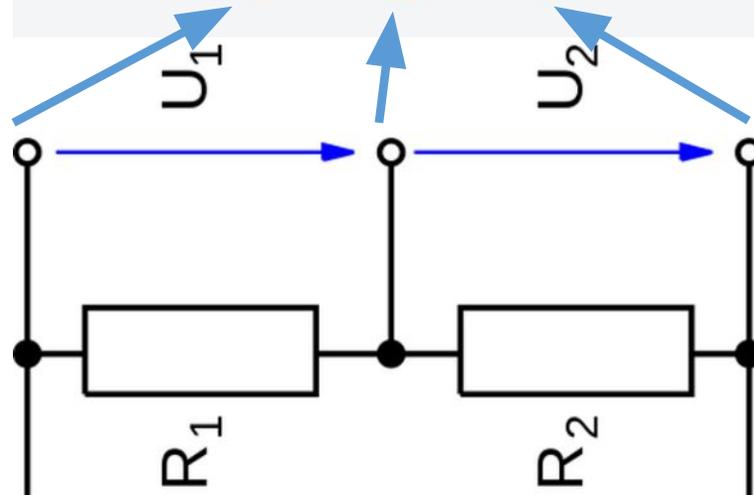
The screenshot displays the 123D Circuits web application interface. At the top, the browser tabs show "123D Circuits" and the address bar contains "123d.circuits.io". The main workspace features a blue Arduino Uno board and a breadboard. A red line connects the 5V pin of the Arduino to the positive rail of the breadboard. Another red line connects the GND pin of the Arduino to the negative rail of the breadboard. On the breadboard, a resistor and an LED are connected in series between the rails. The breadboard is labeled with columns 1-60 and rows A-J. A watermark "123D.CIRCUITS.IO" is visible on the breadboard. To the right of the breadboard, there is a green square icon with a chip and the text "AUTODESK® 123D® CIRCUITS". Below this, the URL "https://123d.circuits.io/" is displayed. The interface also includes a "Code Editor" button, a "Components" button, and a "Start Simulation" button.

Потенциометр

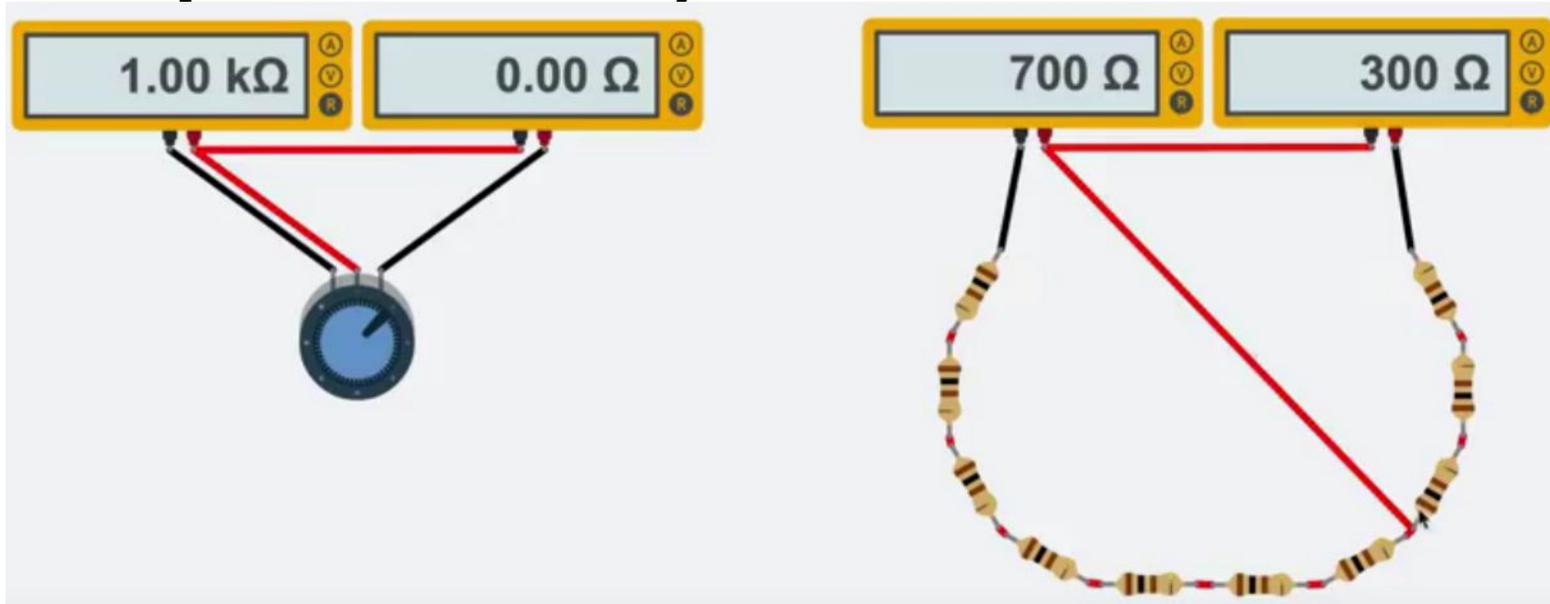


Potentiometer		
Name	2	
resistance	250	kOhm ▾

R1+R2
Суммарное
сопротивлен
ие

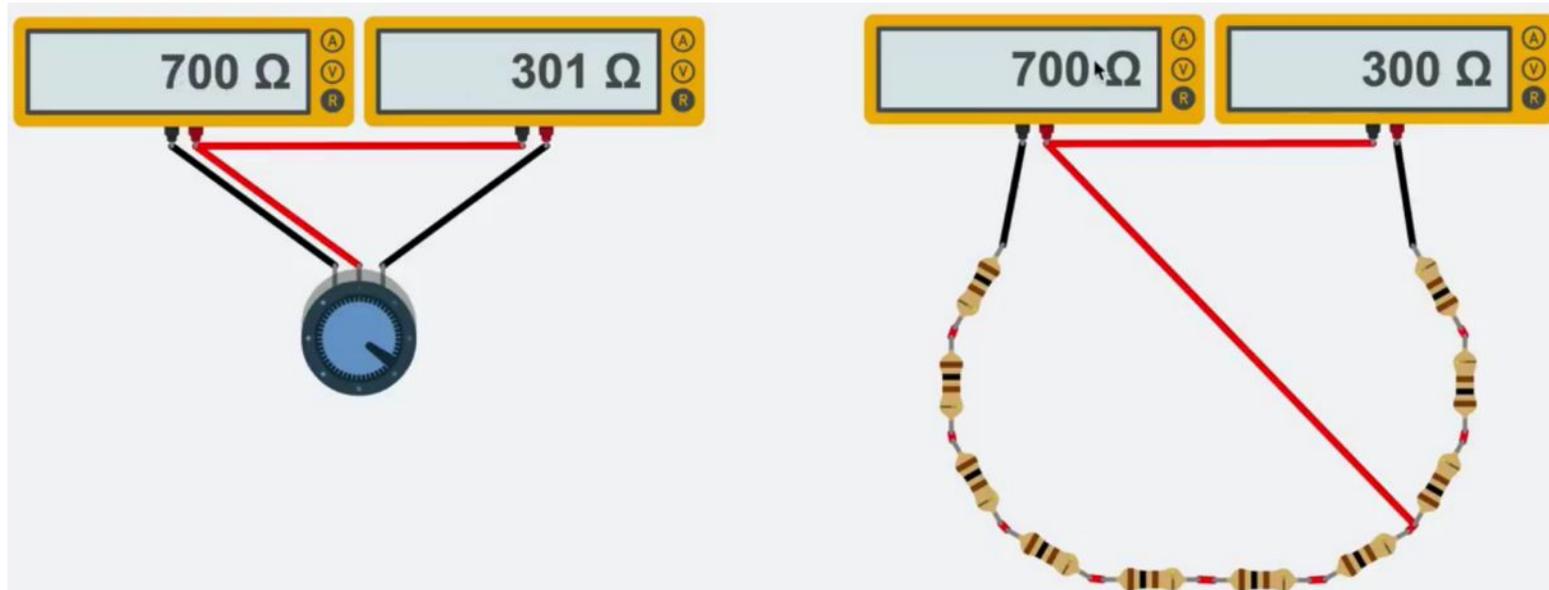


Потенциометр = варистор (переменное сопротивление)



Чаще всего
потенциометр
используют в качестве
делителя напряжения:
 $U_1/U_2=R_1/R_2$

Поворот регулятора
позволяет выставить
необходимое
соотношение
сопротивлений.

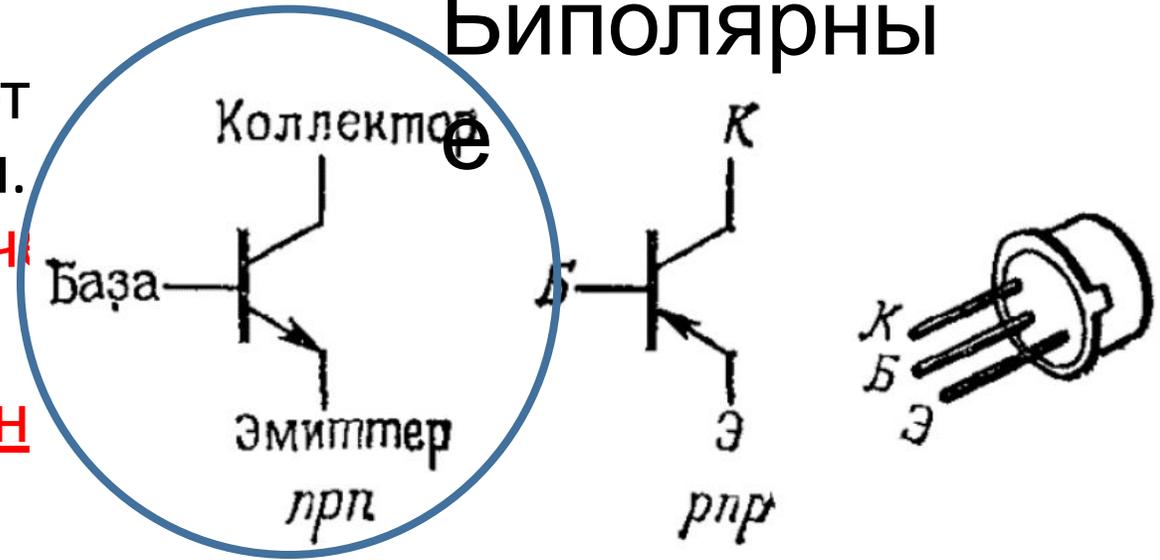


Транзисторы

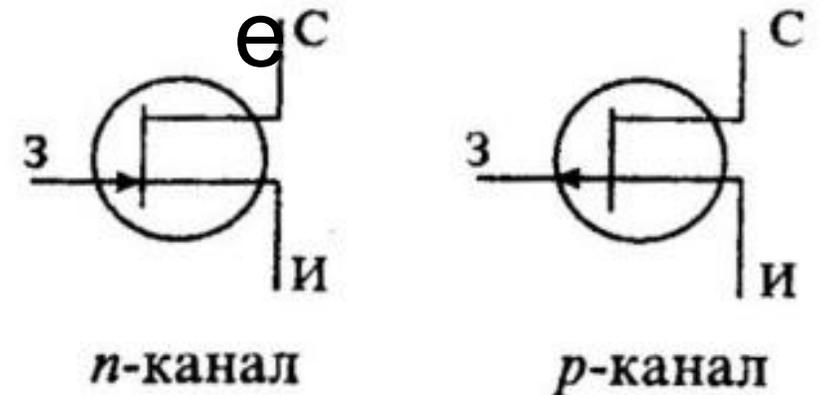
- Транзистор – устройство, которое может усиливать входной сигнал по мощности. **Увеличение мощности происходит за счет внешнего источника питания.**

- Для биполярного NPN транзистора можно записать следующие правила:

1. Коллектор имеет больший потенциал, чем эмиттер.
2. Транзистор характеризуется максимальными значениями I_k , I_b , $U_{кэ}$ и т.д., превышение данных величин недопустимо!!! (допустимо только раз 😊)
3. 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, $h = 50 - 250$.

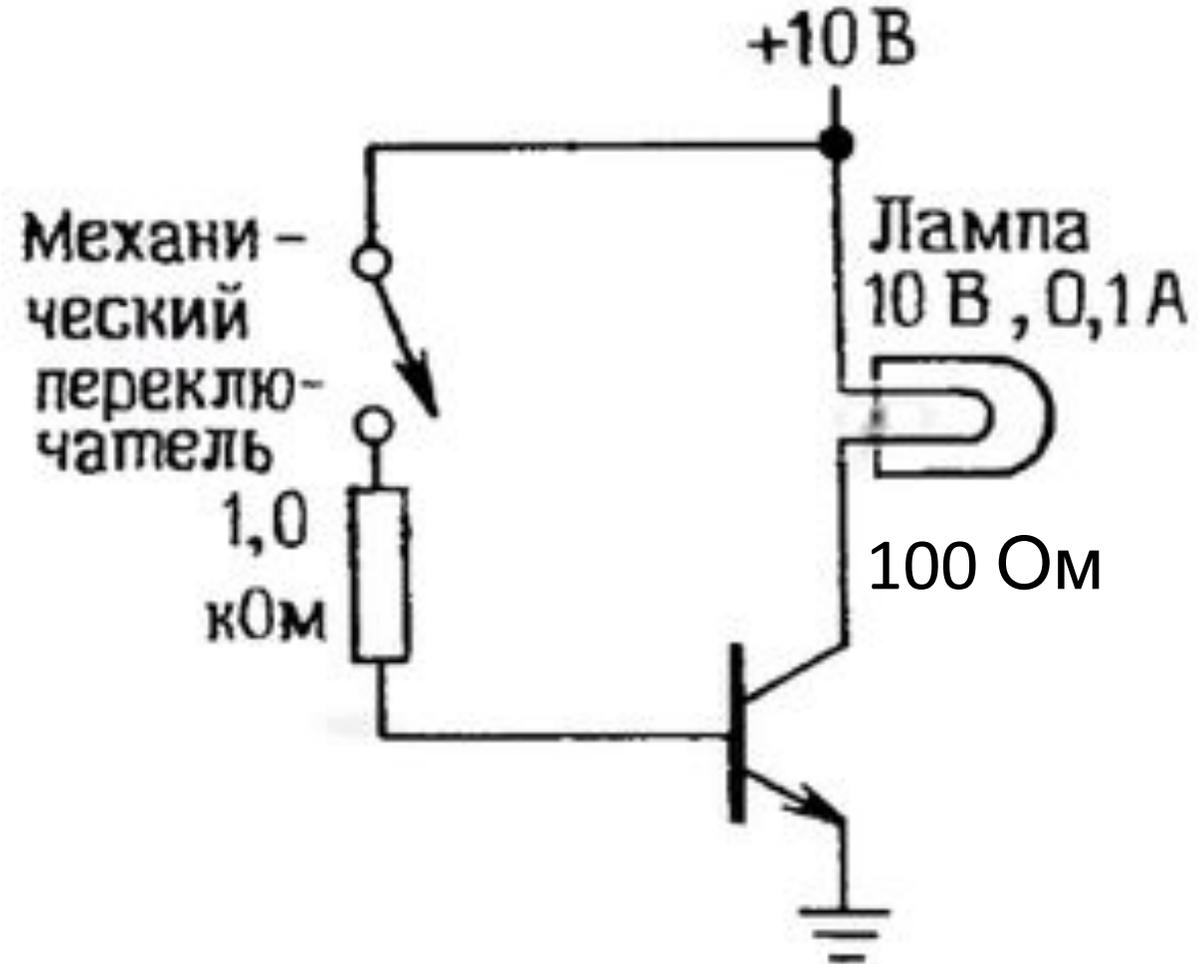


Полевые



Транзисторный переключатель

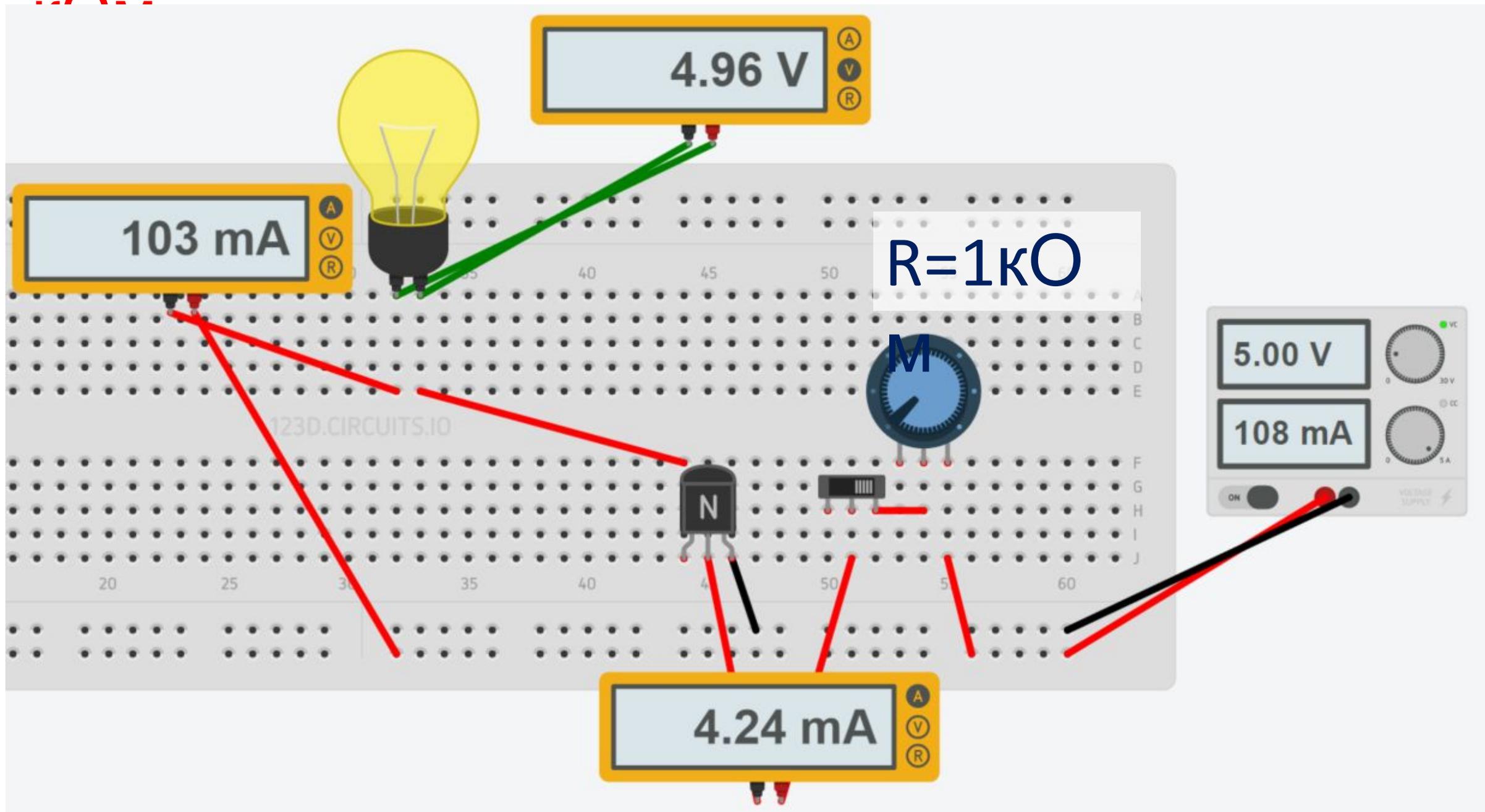
- **Транзисторный переключатель** – схема, которая с помощью небольшого управляющего тока может создавать в другой схеме ток значительно большей величины.



Транзисторный переключатель

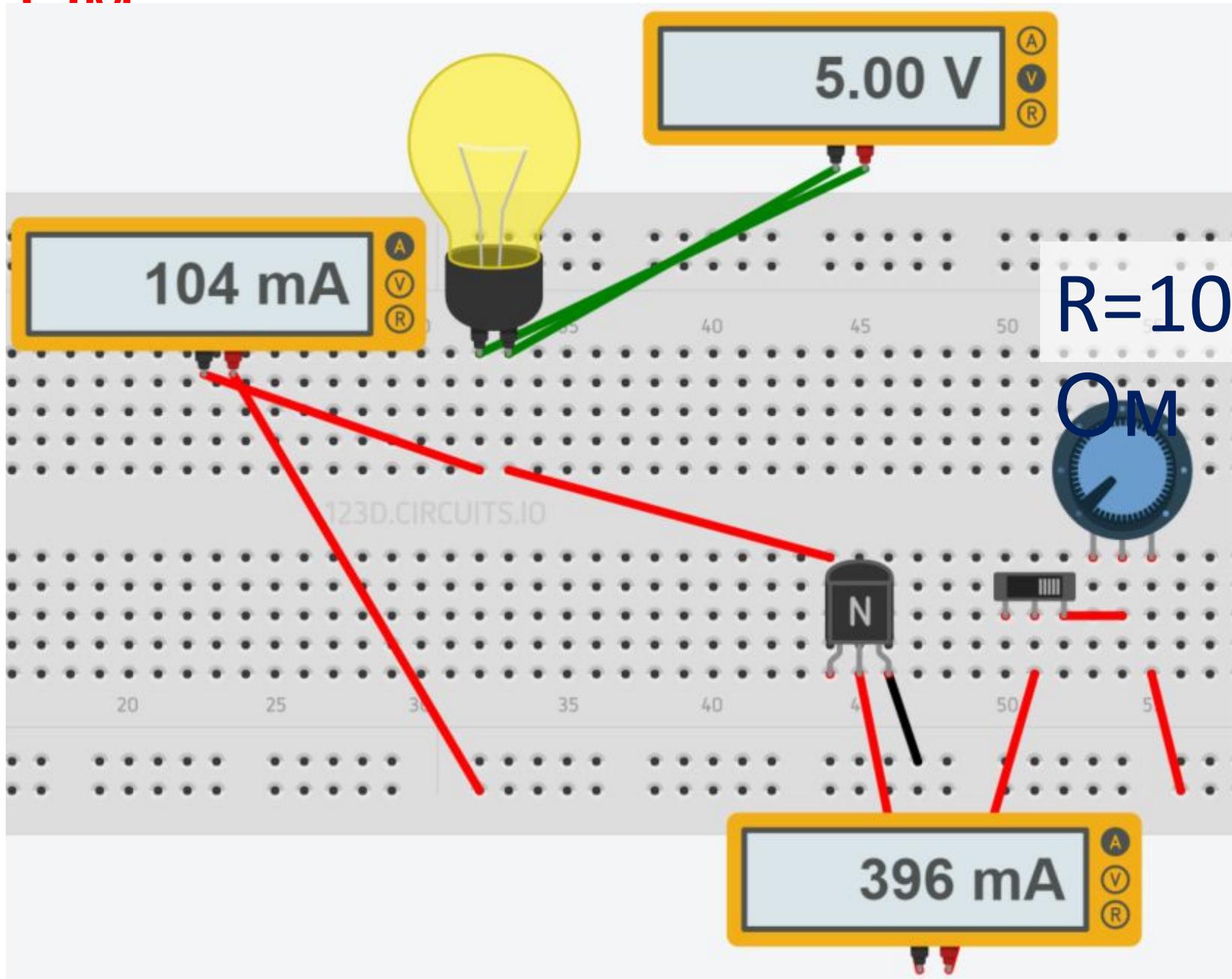
- **Переключатель разомкнут.** Ток базы отсутствует, следовательно, отсутствует и ток коллектора: $I_k = h \cdot I_b = h \cdot 0 = 0$.
- **Переключатель замкнут.** Напряжение на базе примерно 0.6 В (стандартное напряжение перехода база - эмиттер). Падение напряжения на резисторе составит ($10 - 0.6 = 9.4$ В). Ток базы равен $9.4 / 1000 = 9.4$ мА.
- Применяя «в лоб» выражение $I_k = h \cdot I_b$, и, полагая, что $h = 100$, можно ошибочно получить, что $I_k = 100 \cdot 9.4 = 940$ мА = 0.94 А. **Это неверно!** Правило $I_k = h \cdot I_b$ 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 -90 В (**минус!**), что существенно меньше потенциала эмиттера, который равен потенциалу земли (0 В). Тогда $I_{k\max} = 9.8$ В / 100 Ом = 0.1 А. Если $h = 100$, то $I_b = 0.1$ А / 100 = 1 мА. **Таким образом, на базе достаточно резистора 10 кОм и тока 1 мА, чтобы получить $I_k = 0.1$ А.**

Транзисторный переключатель. Пример. $\beta = 1$



Транзисторный переключатель. Пример. $R=10$

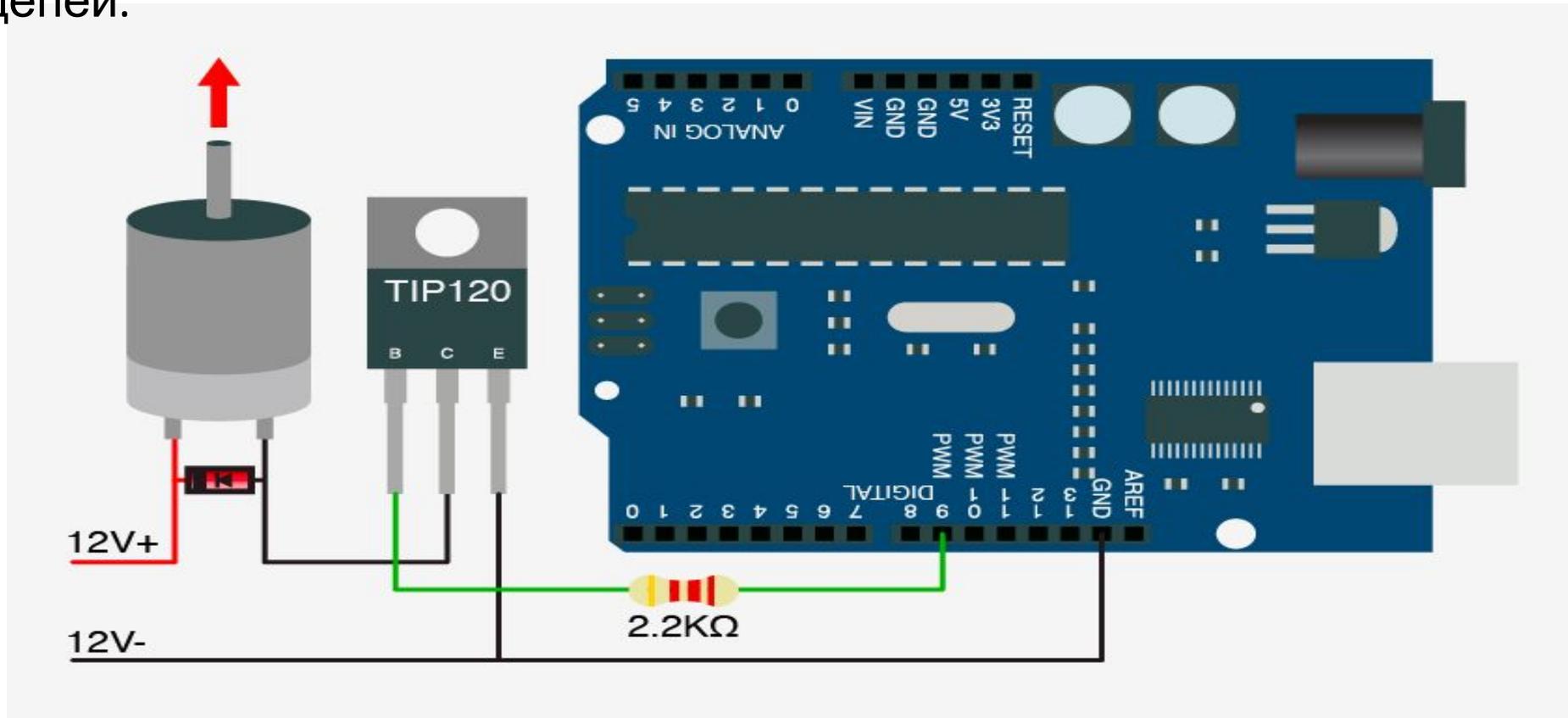
Ом



- 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?

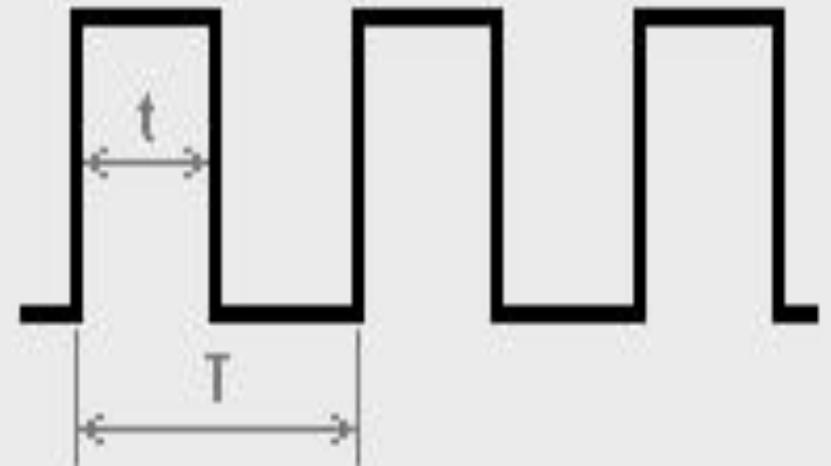
- Дискретные выходы Arduino UNO рассчитаны на максимальный ток в **40мА**. Этого достаточно для того, чтобы зажечь светодиод, но недостаточно для того, чтобы, например, управлять двигателем (десятки ампер) или лампой накаливания.
- Использование транзистора позволяет коммутировать цепи высокой мощности, 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).

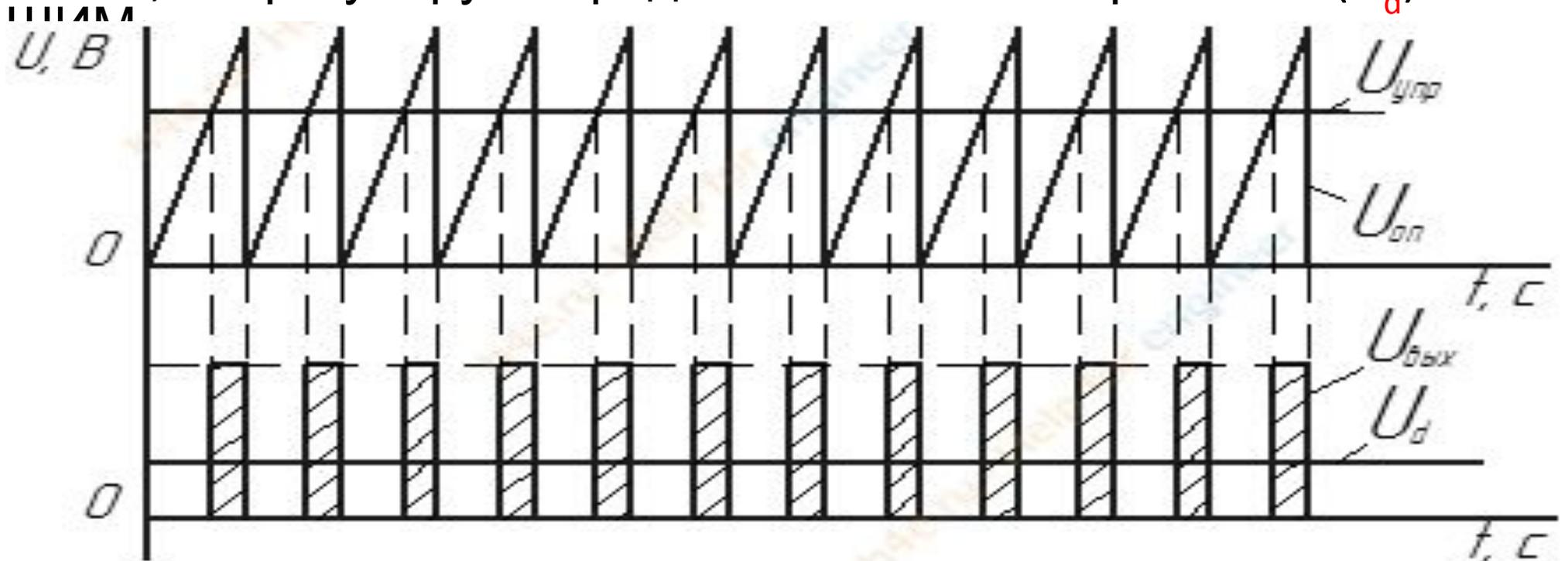
D: 0%



ШИМ широтно-импульсная модуляция.

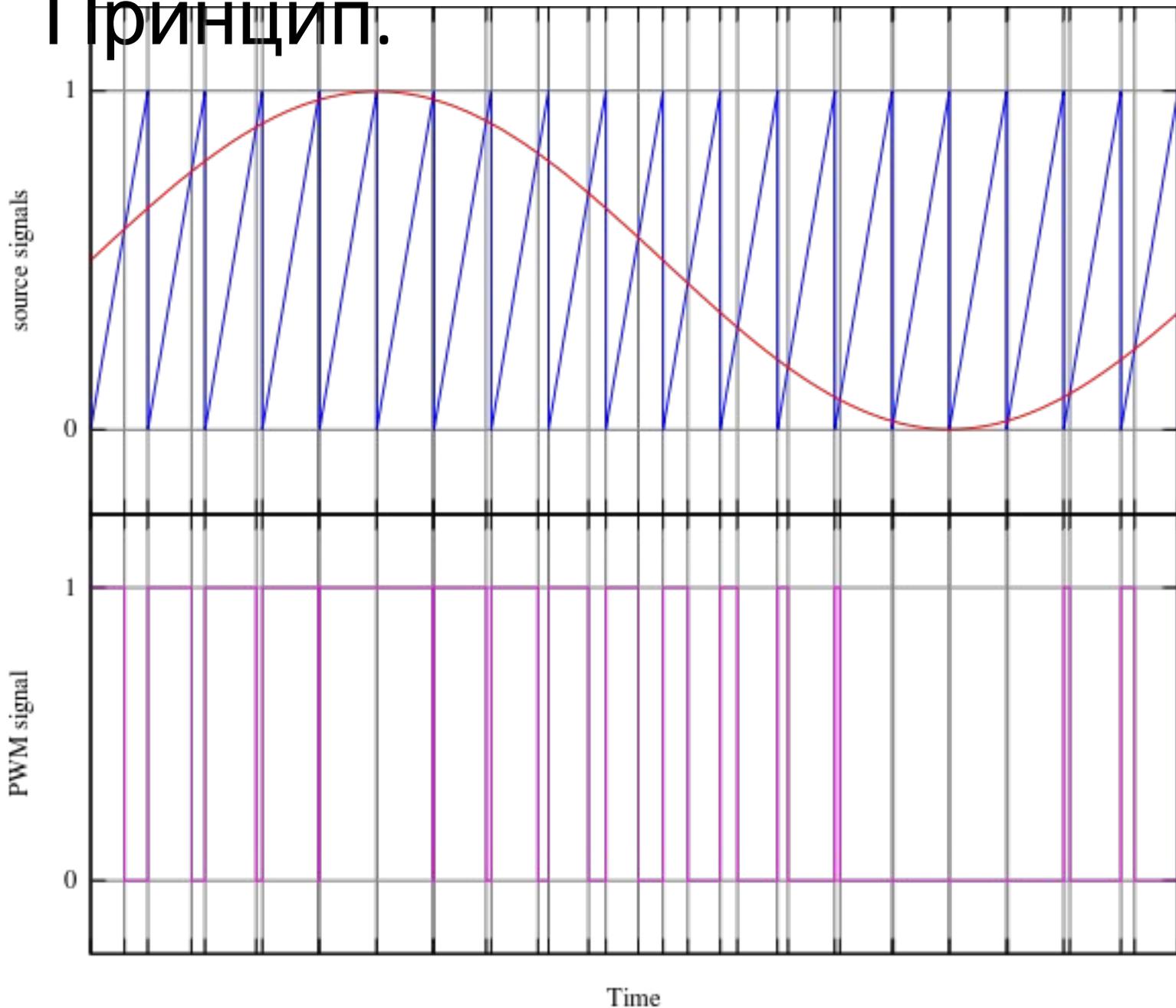
Принцип.

- $U_{оп}$ – 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.

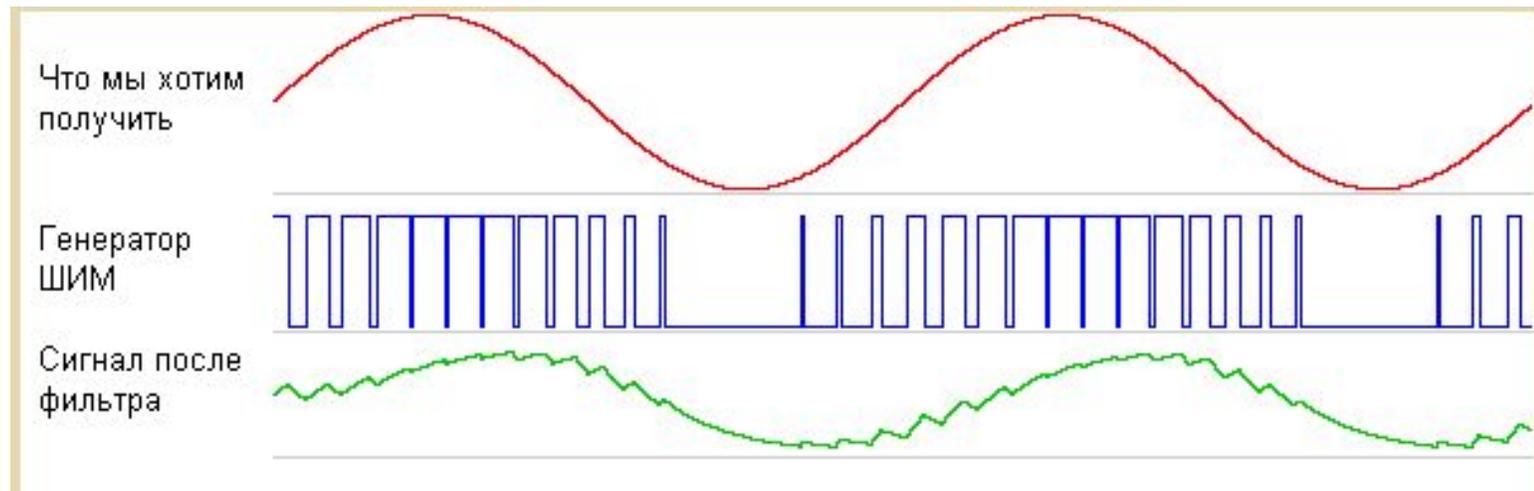
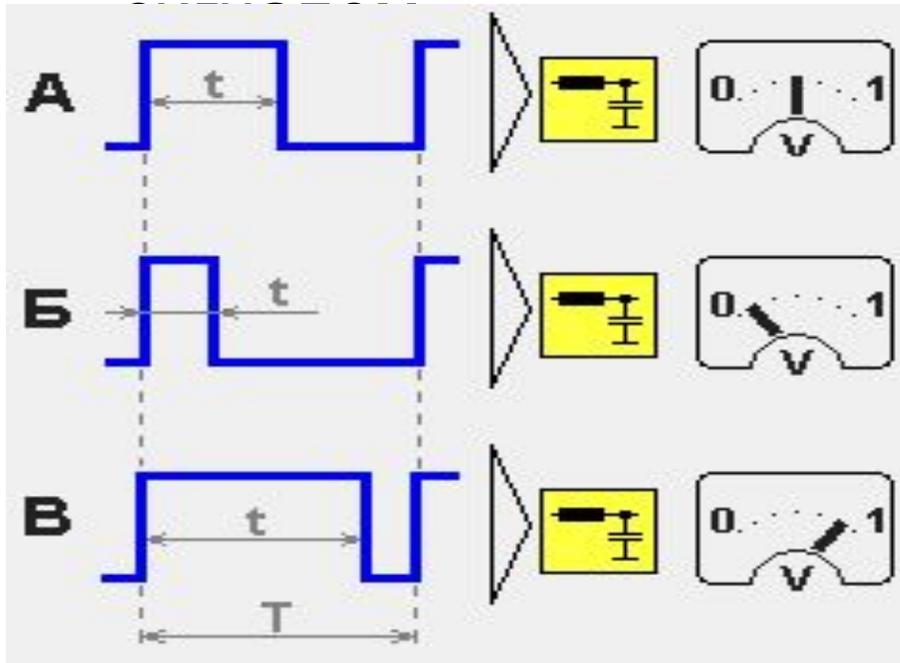


- В общем случае модулирующее напряжение может быть произвольной формы.
- Синусоидальное модулирующее напряжение широко используется в частотно-регулируемых приводах, передачах и вставках постоянного тока для генерации гармонического сигнала заданной частоты и амплитуды.

ШИМ широтно-импульсная модуляция.

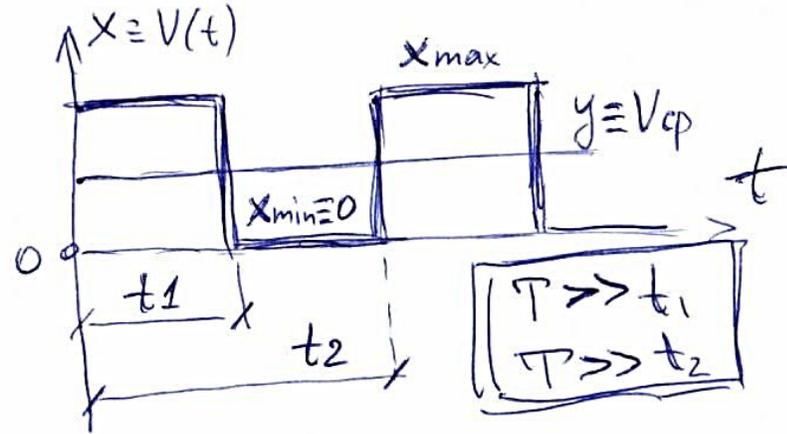
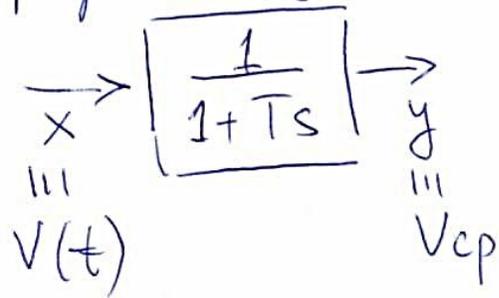
Принцип.

- 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 — периодическое звено.



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

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

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

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

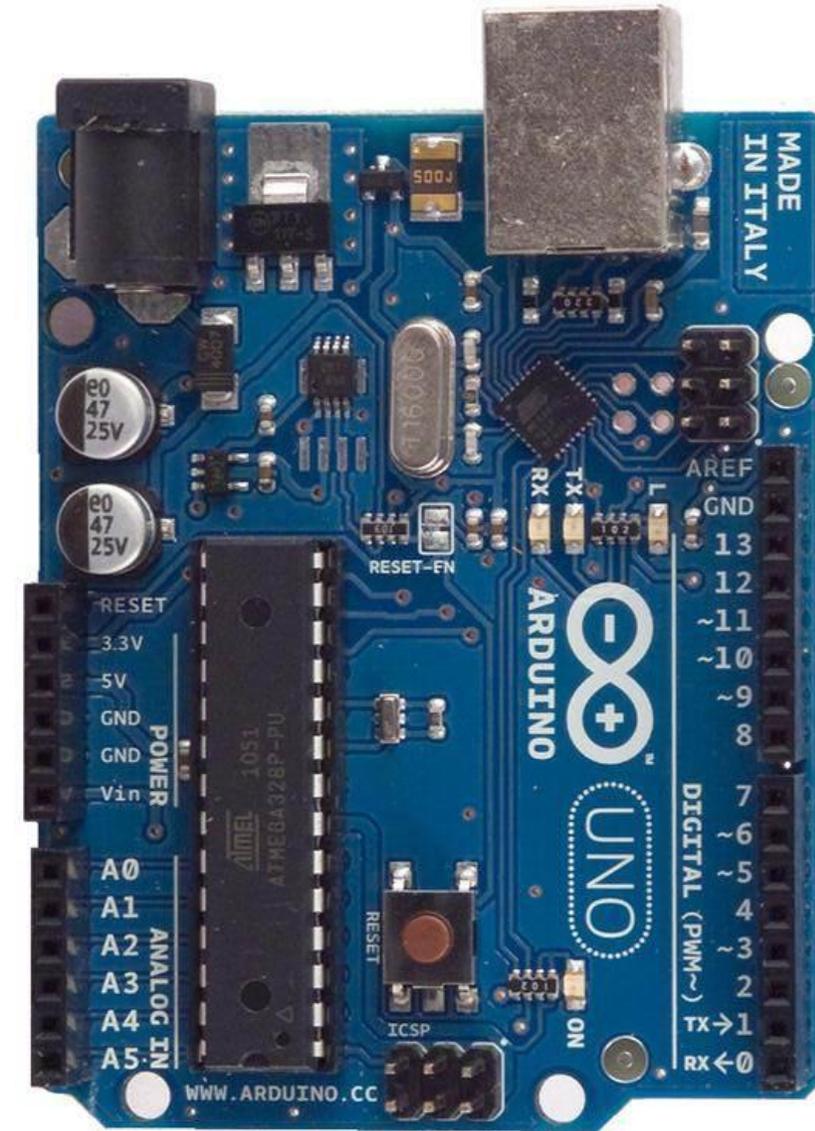
$$\textcircled{2} \frac{1}{T} \int_0^{t_2} y dt = \frac{S_2}{T} = \left\{ \begin{array}{l} S_2 - \text{площадь} \\ y \text{ за период} \end{array} \right\} = \frac{y t_2}{T}$$

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

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

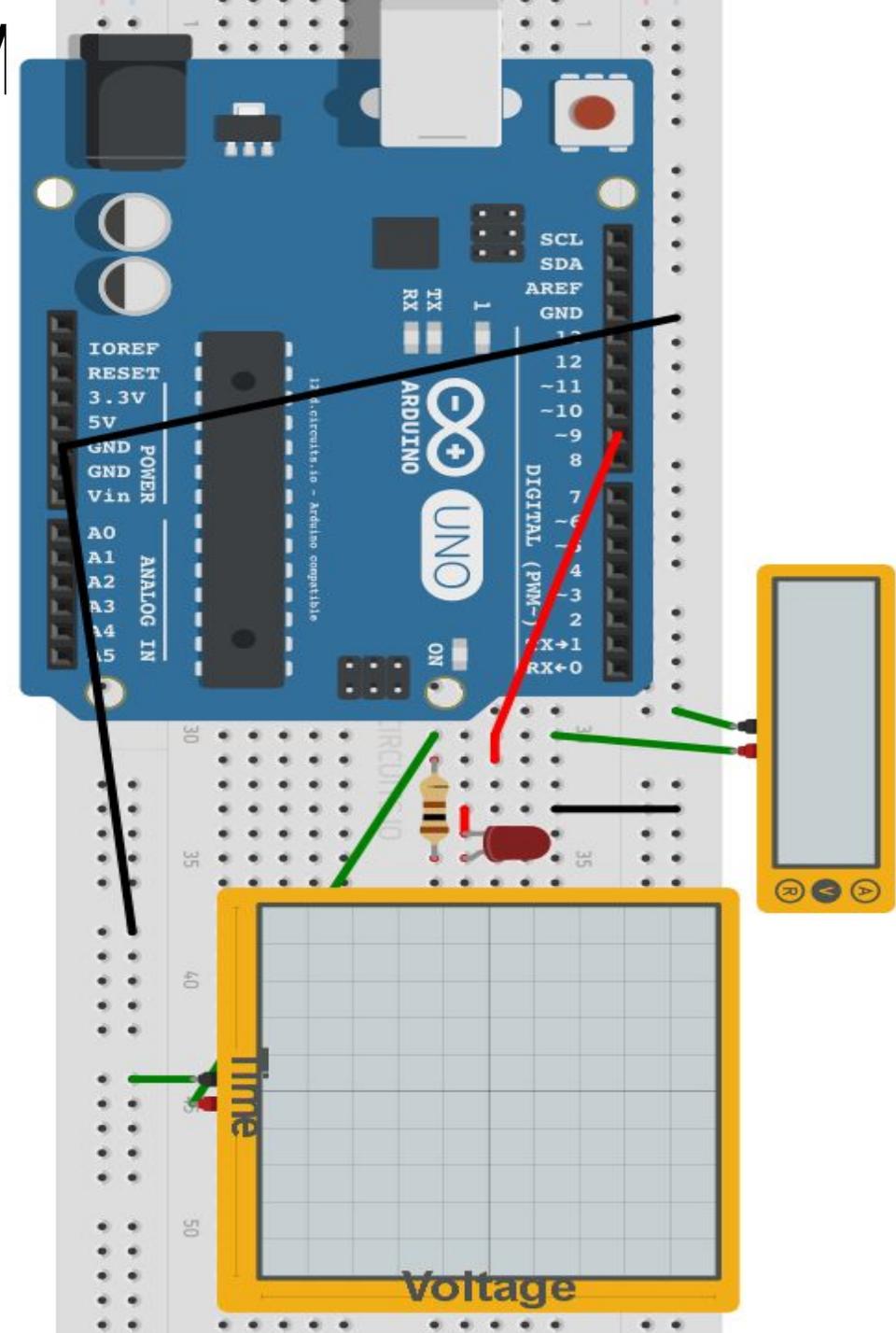
Реализация ШИМ на Arduino UNO

- 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***

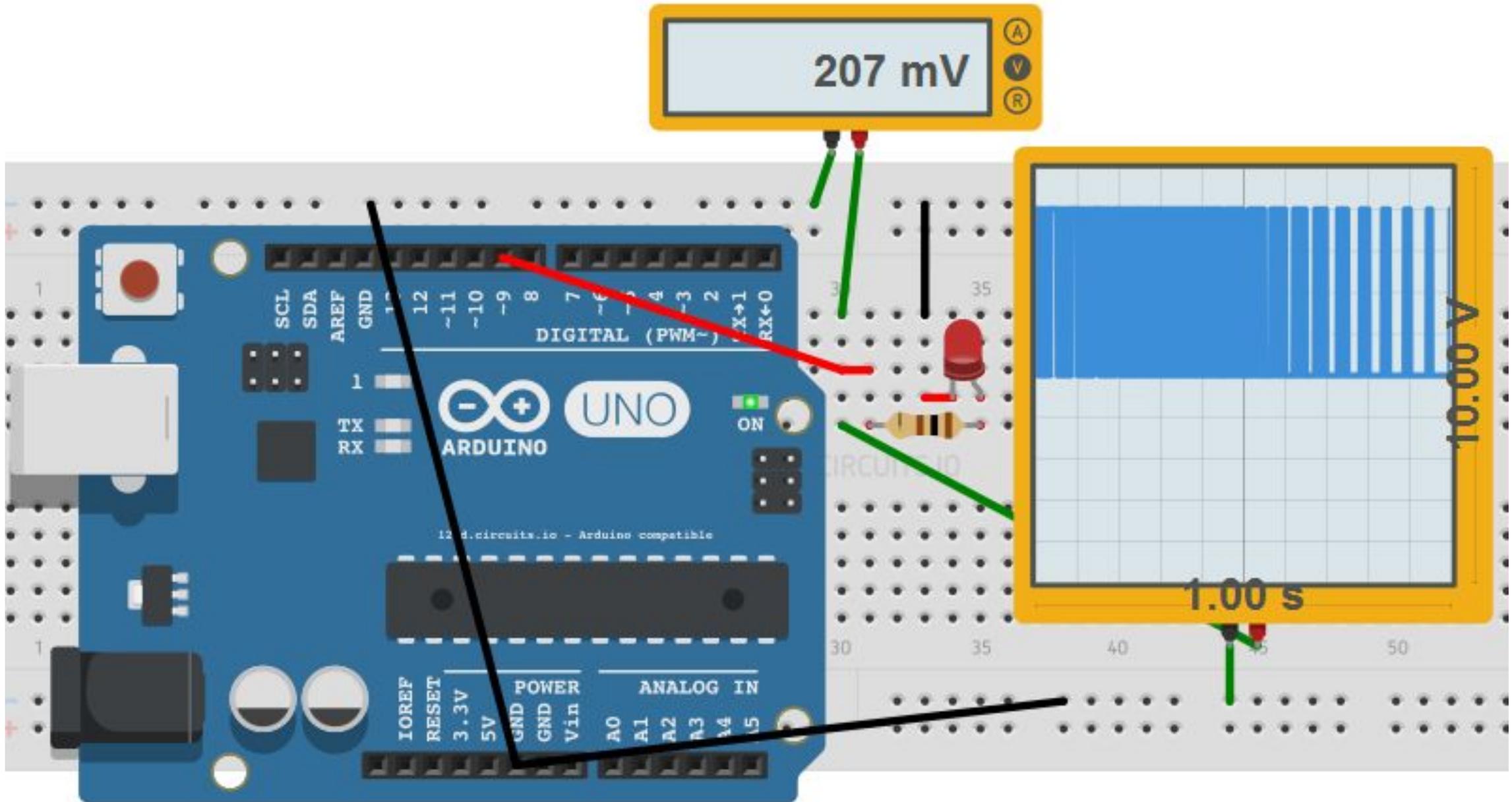


Мигающий светодиод на ШИМ

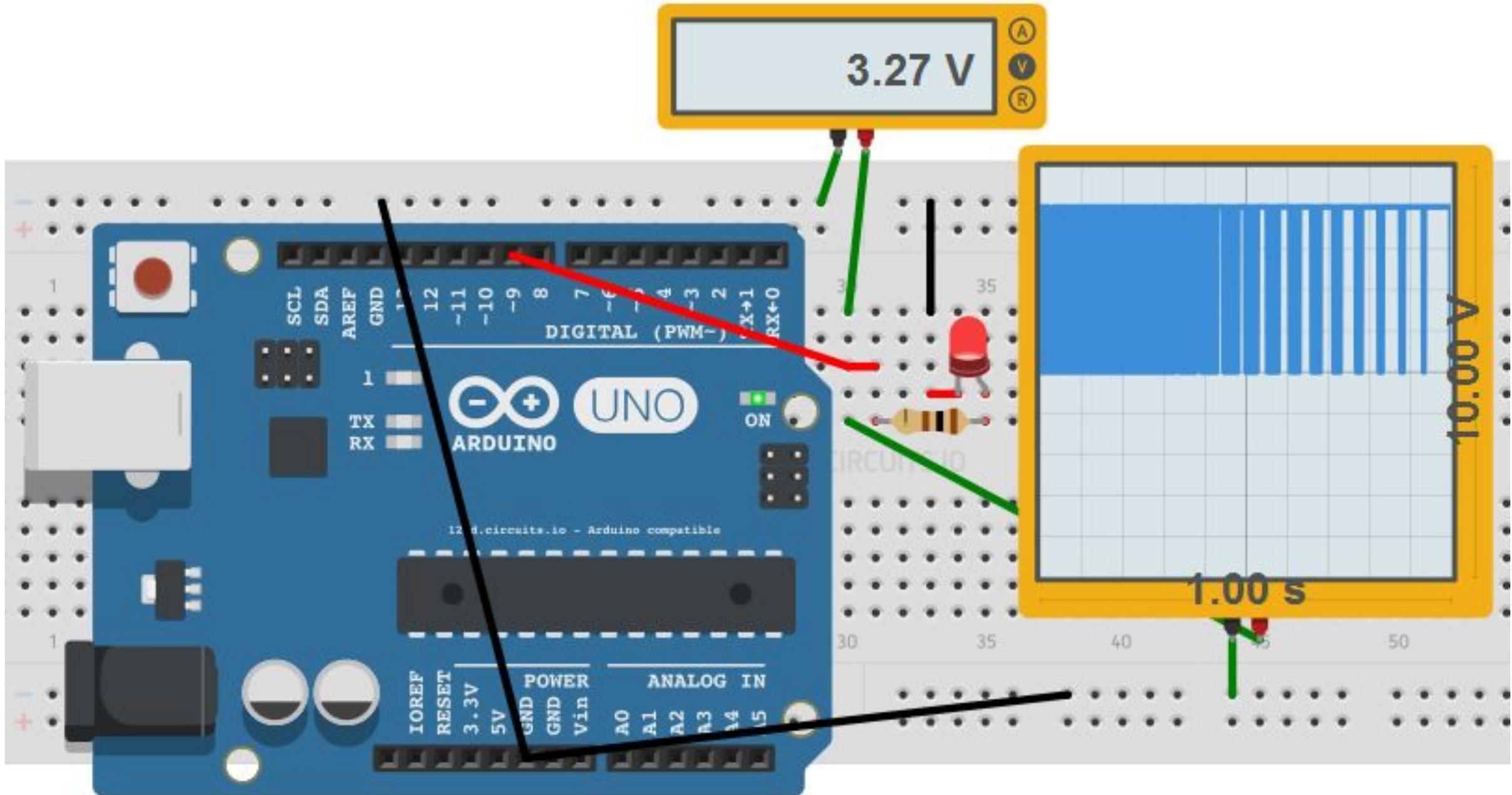
```
int ledPin = 9;//Номер пина с ШИМ
void setup() { //Ничего не происходит
}
void loop() {
  for (int fadeValue = 0; fadeValue <= 255; fadeValue += 5) {
    // увеличиваем fadeValue с 0 до 255
    analogWrite(ledPin, fadeValue);
    // ожидаем 30 миллисекунд, чтобы эффект был виден
    delay(30);
 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