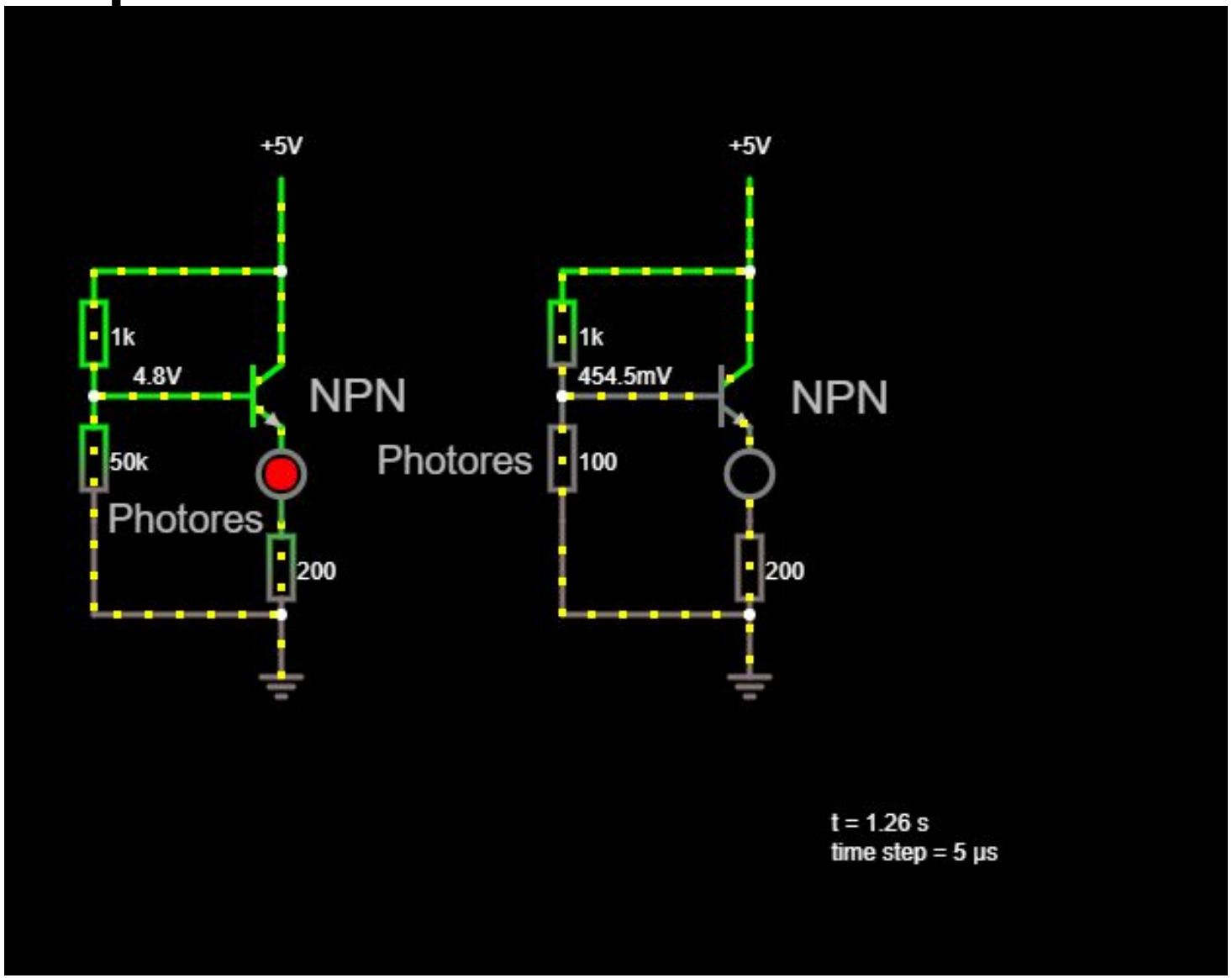
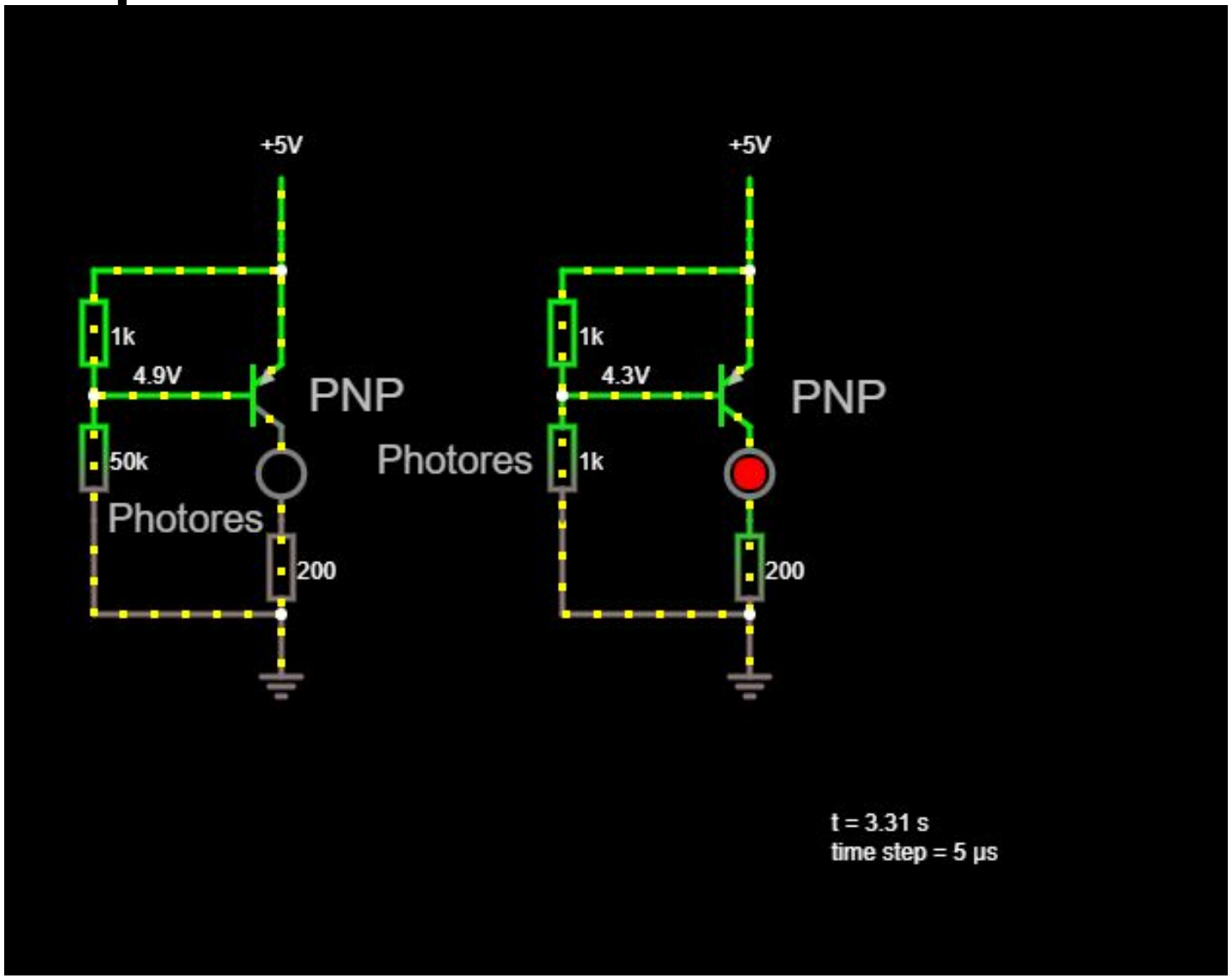
Лекция 2. Сопротивление и пассивные фильтры

Разбор практического занятия



Разбор практического занятия



Сегодня

1. Сопротивление;
2. Делители напряжения;
3. Динамическое сопротивление;
4. Сигналы;
5. RC-схема;
6. Полное и реактивное сопротивление;
7. Делители напряжения переменного тока;
8. RC-фильтр;
9. LC-фильтр.
10. Классические фильтры;
11. Операционные усилители.

Сопротивление

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

R1

R2

Мощность и размеры сопротивлений

Table 1: Typical Power Ratings		
JDI Size	EIA Size	Rated Power, Watts
R07	0402	.005 W
R14	0603	.02 W
R15	0805	.04 W
R18	1206	.08 W
S41	1210	0.2 W
S43	1812	0.4 W
H42	1515	0.4 W
H47	2520	0.9 W
H51	3530	1.5 W
H62	4540	2.1 W
H66	5550	2.8 W
H70	6560	3.8 W

1/8 Watt Resistors

¼ Watt Resistors

½ Watt Rersistors

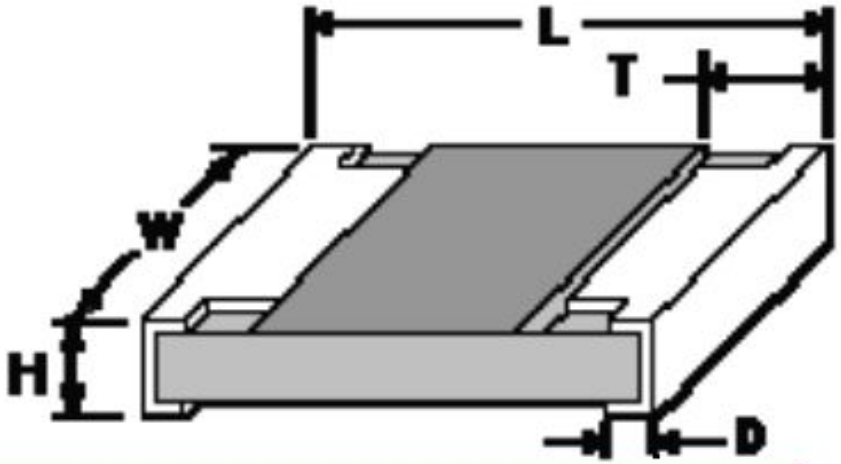
1 Watt Resistors

2 Watt Resistors

5 Watt Resistor

Основные размеры SMD - компонентов

Резисторы

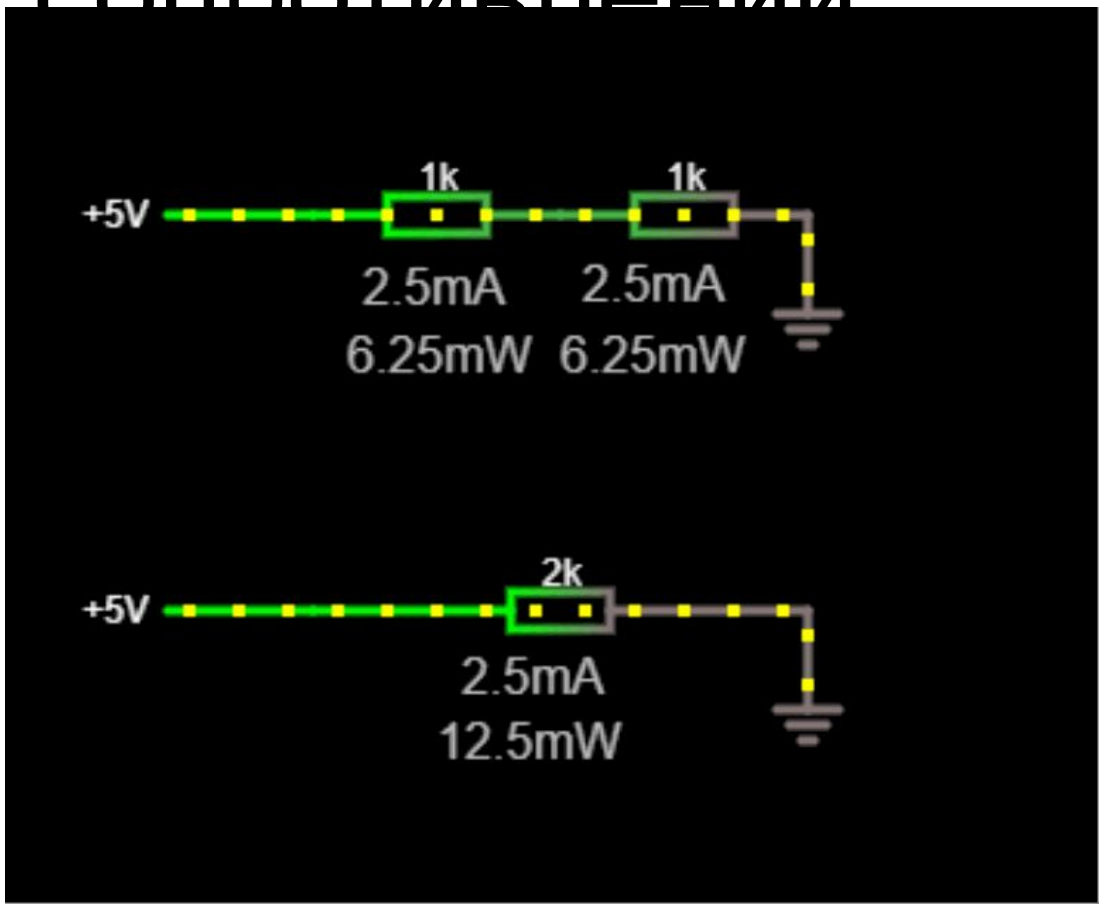


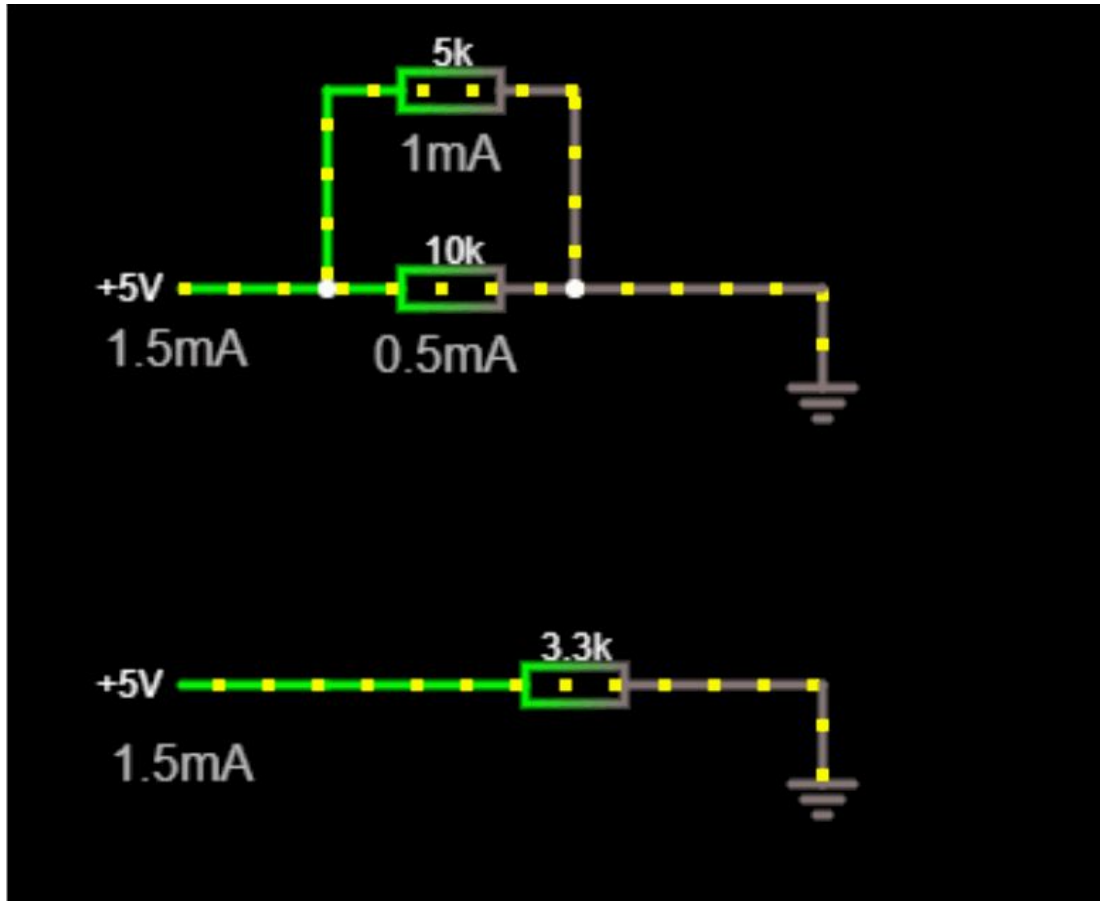
Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)	T (mm)
0402	1005	1.0±0.1	0.5±0.05	0.35±0.05	0.25±0.1	0.2±0.1
0603	1608	1.6±0.1	0.85±0.1	0.45±0.05	0.3±0.2	0.3±0.2
0805	2012	2.1±0.1	1.3±0.1	0.5±0.05	0.4±0.2	0.4±0.2
1206	3216	3.1±0.1	1.6±0.1	0.55±0.05	0.5±0.25	0.5±0.25
1210	3225	3.1±0.1	2.6±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.5±0.25
2010	5025	5.0±0.1	2.5±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25
2512	6332	6.35±0.1	3.2±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25

Последовательное и параллельное соединение

- При последовательном – сопротивления складываются.
- При параллельном – складываются обратные сопротивления.
- $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$
- Проводимость – G - сименс 1/R (мо), $1/R=G_1+G_2$

Примеры последовательного и параллельного соединения сопротивлений





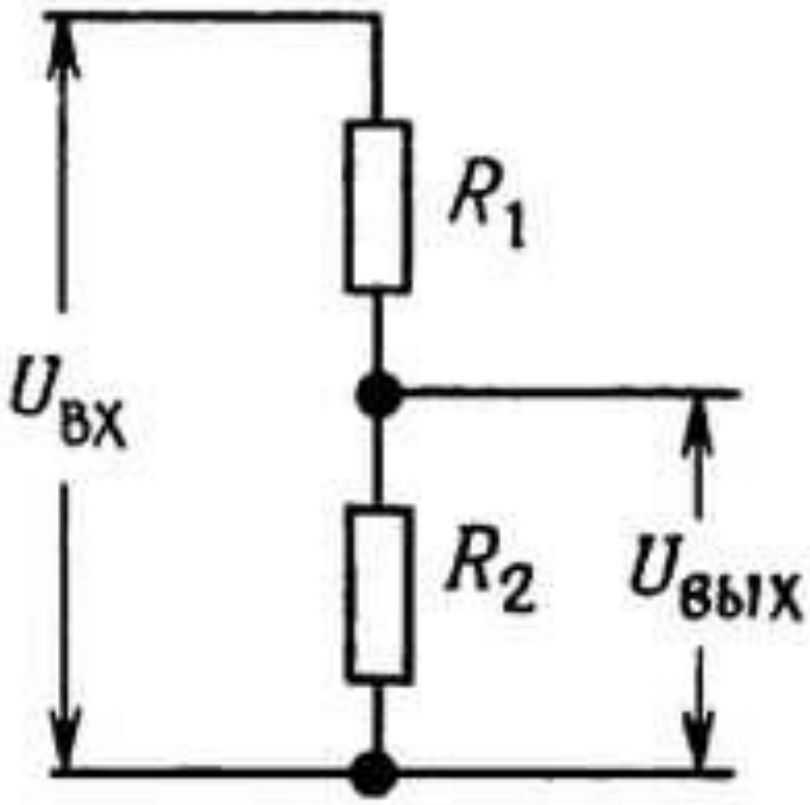
Делители напряжения

- Без нагрузки

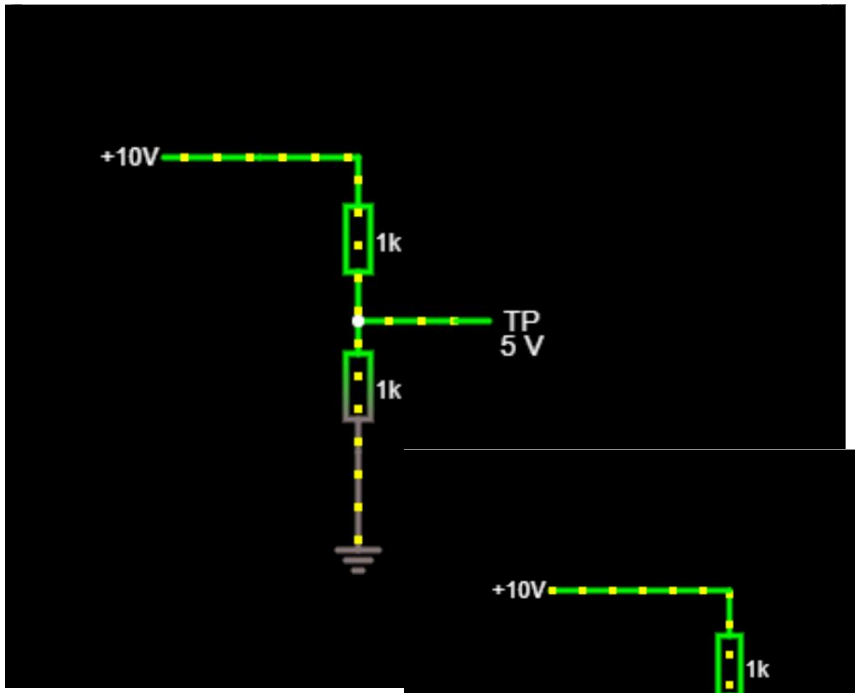
$$I = \frac{U_{вх}}{R_1 + R_2}$$

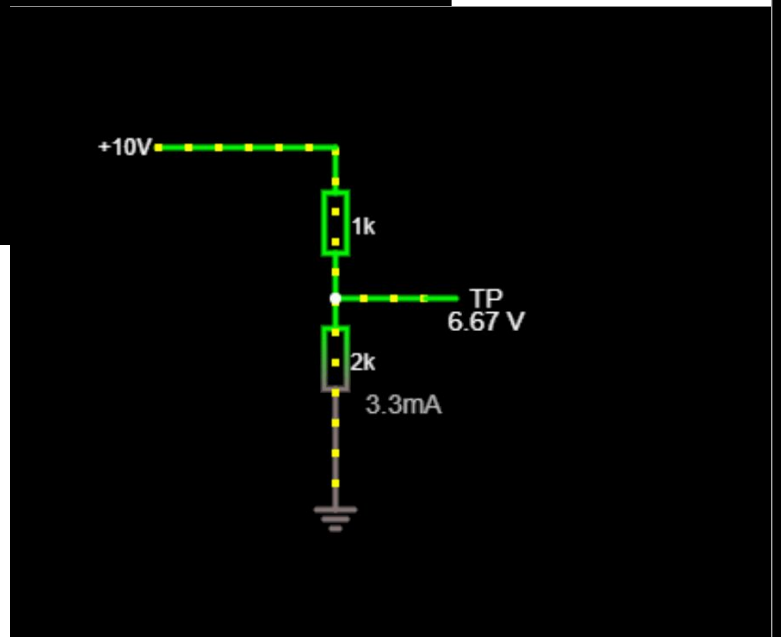
Тогда для R_2

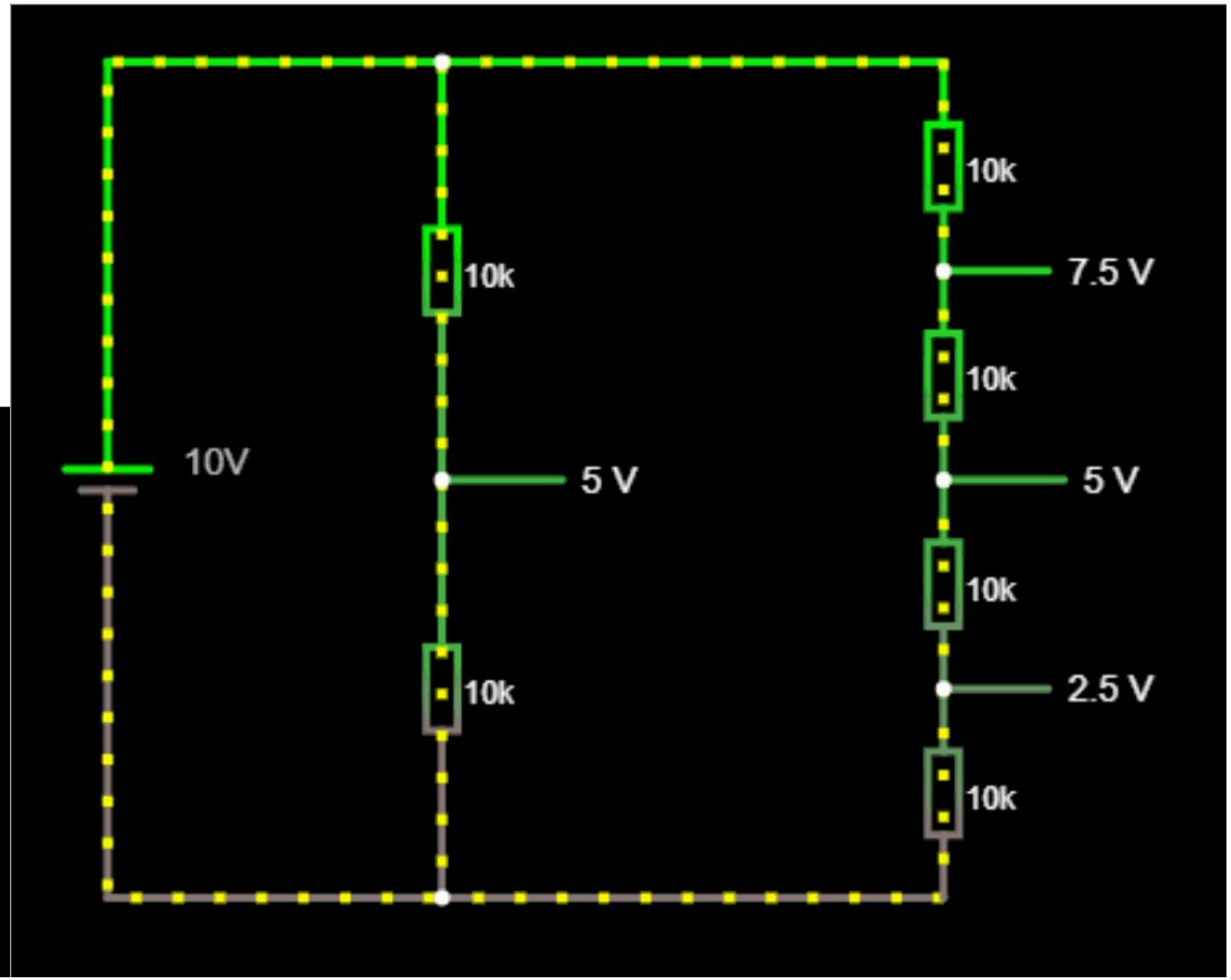
$$U_{вых} = I \cdot R_2 = \frac{U_{вх} R_2}{R_1 + R_2}$$



Примеры делителей

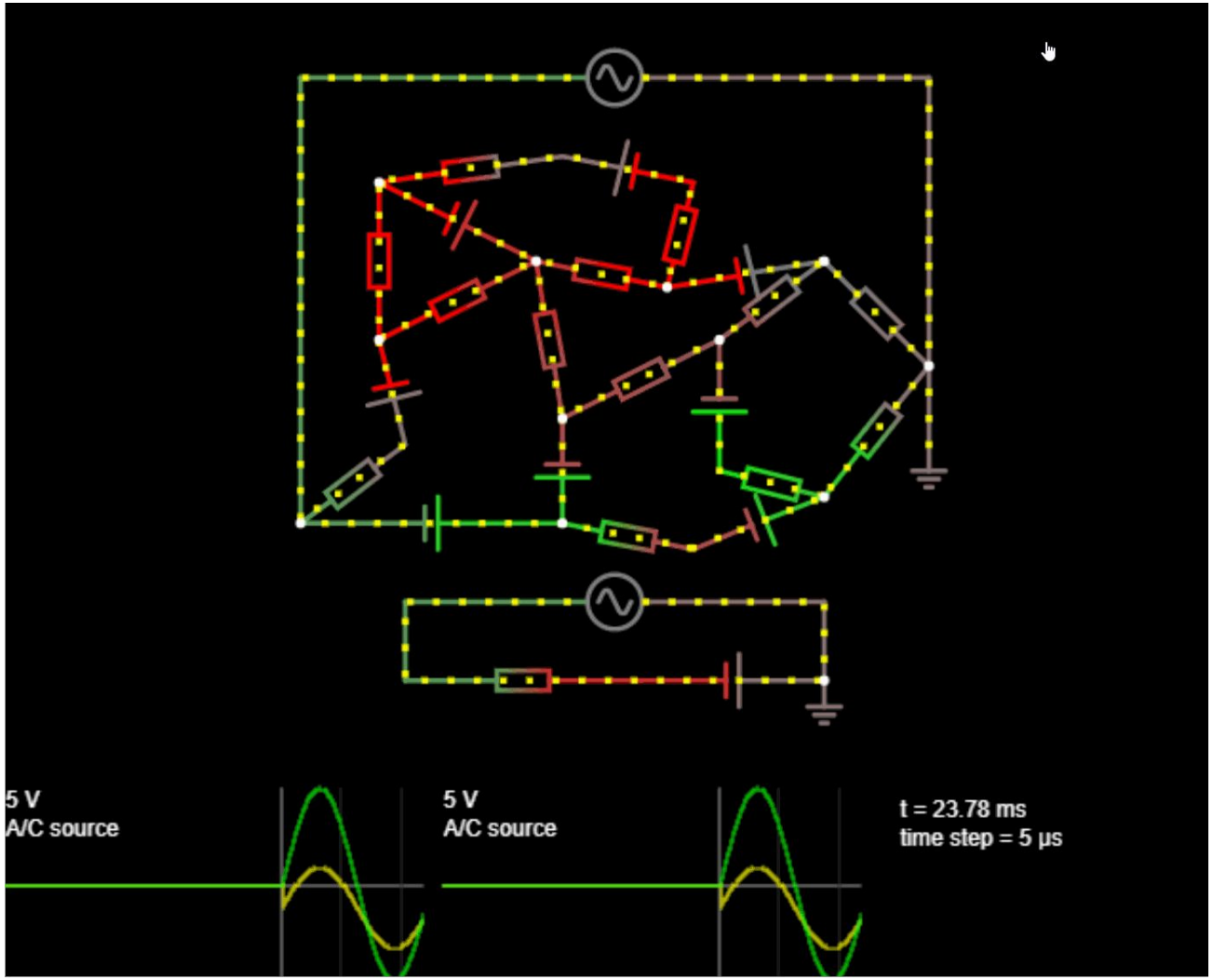






Теорема об эквивалентном преобразовании источников (теорема Тевенина)

- Теорема об эквивалентном преобразовании источников утверждает, что всякую схему, состоящую из резисторов и источников напряжения и имеющую два вывода, можно представить в виде эквивалентной схемы, состоящей из одного резистора *R*, последовательно подключенного к одному источнику напряжения *U*.



Преобразование делителя напряжения в источник питания

1. Напряжение при разомкнутой цепи:

$$U = U_{вх}\left[\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right]$$

2. Ток замкнутой накоротко цепи:

$$I_{вх} = U/R_1$$

Тогда эквивалентная схема представляет собой источник напряжения

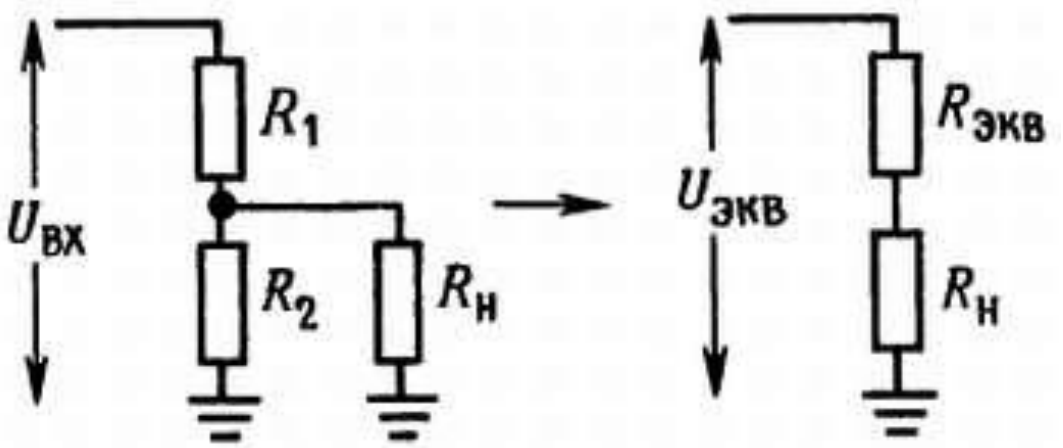
$$U_{экв} = U_{вх}\,[R_2/(R_1 + R_2)]$$

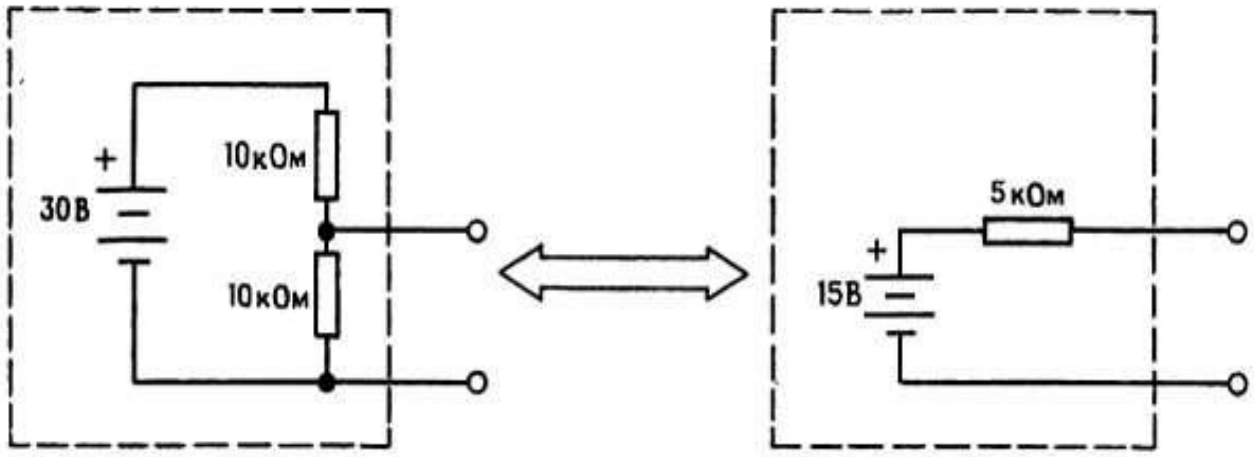
к которому последовательно подключен резистор с сопротивлением

$$R_{экв} = R_1R_2/(R_1 + R_2)$$

Делитель напряжения не может служить хорошим источником, так как его выходное напряжение существенно уменьшается при подключении нагрузки.

$R_н >> R_{внутр}$



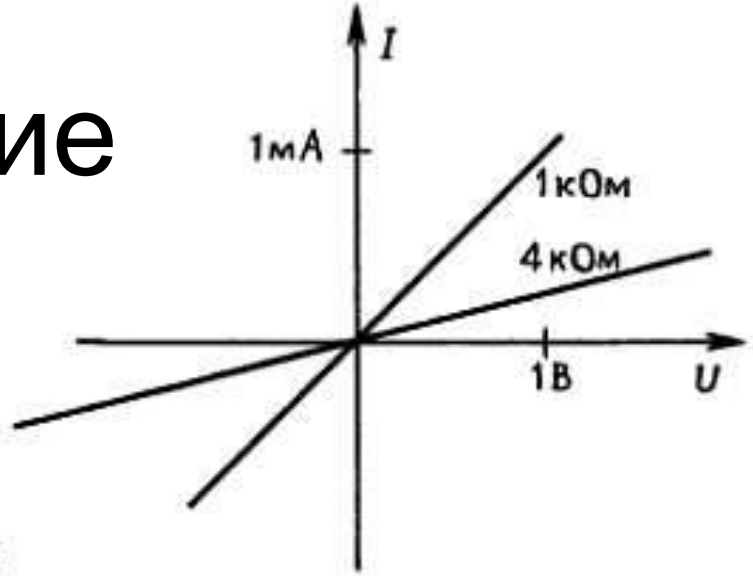


Реальная схема

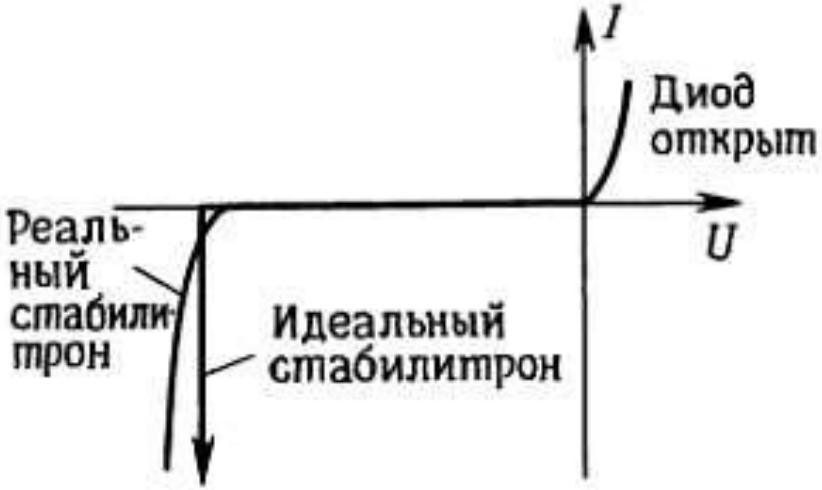
Эквивалентная схема

Динамическое сопротивление

- Отношение небольшого изменения приложенного напряжения к соответствующему изменению тока через схему: $\Delta U/\Delta I$ (или dU/dI).



а



б

Диод Зенера (Стабилитрон)

- $$I = \frac{U_{вх} - U_{вых}}{R}$$

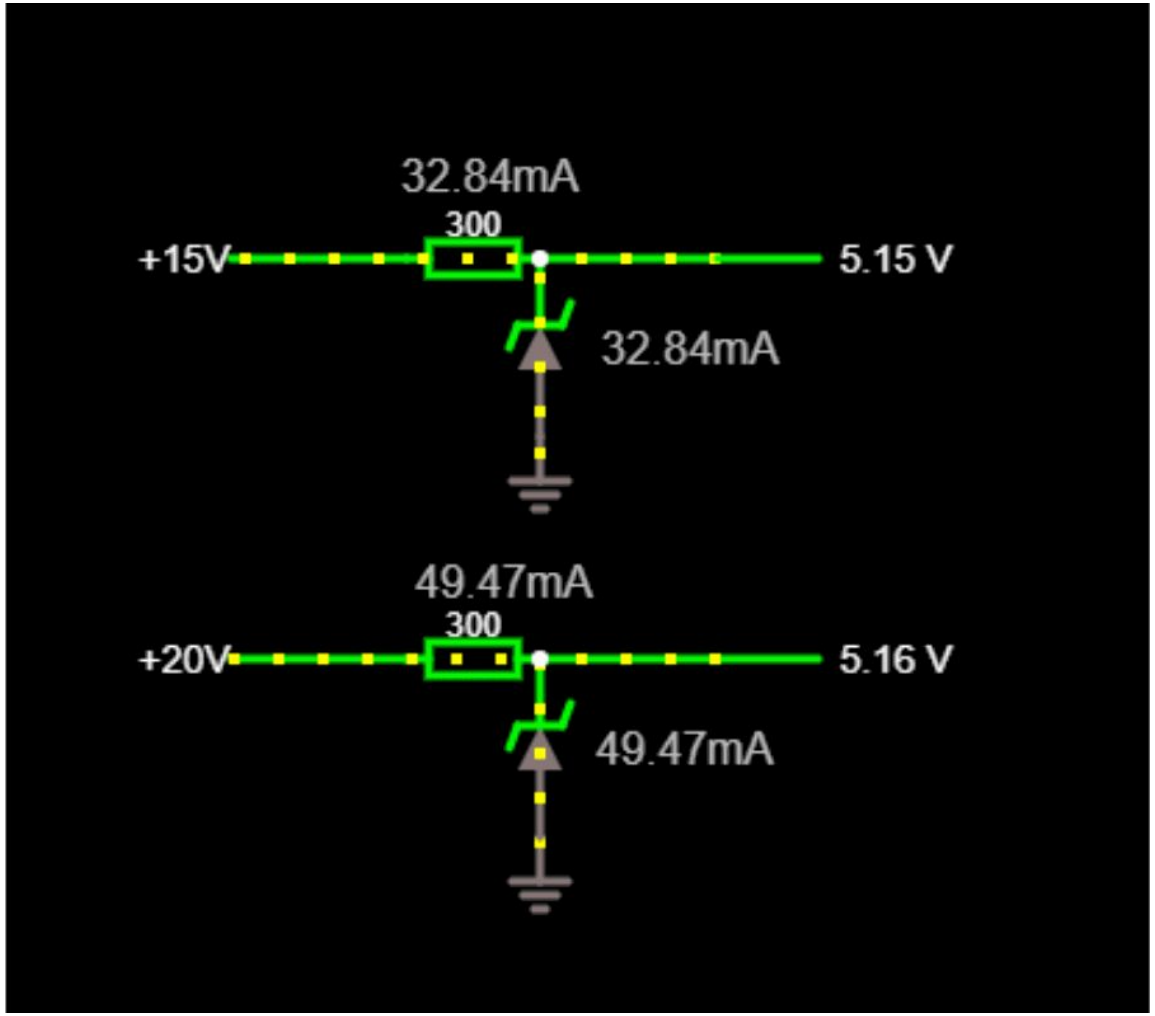
$$\Delta I = \frac{\Delta U_{вх} - \Delta U_{вых}}{R}$$

тогда

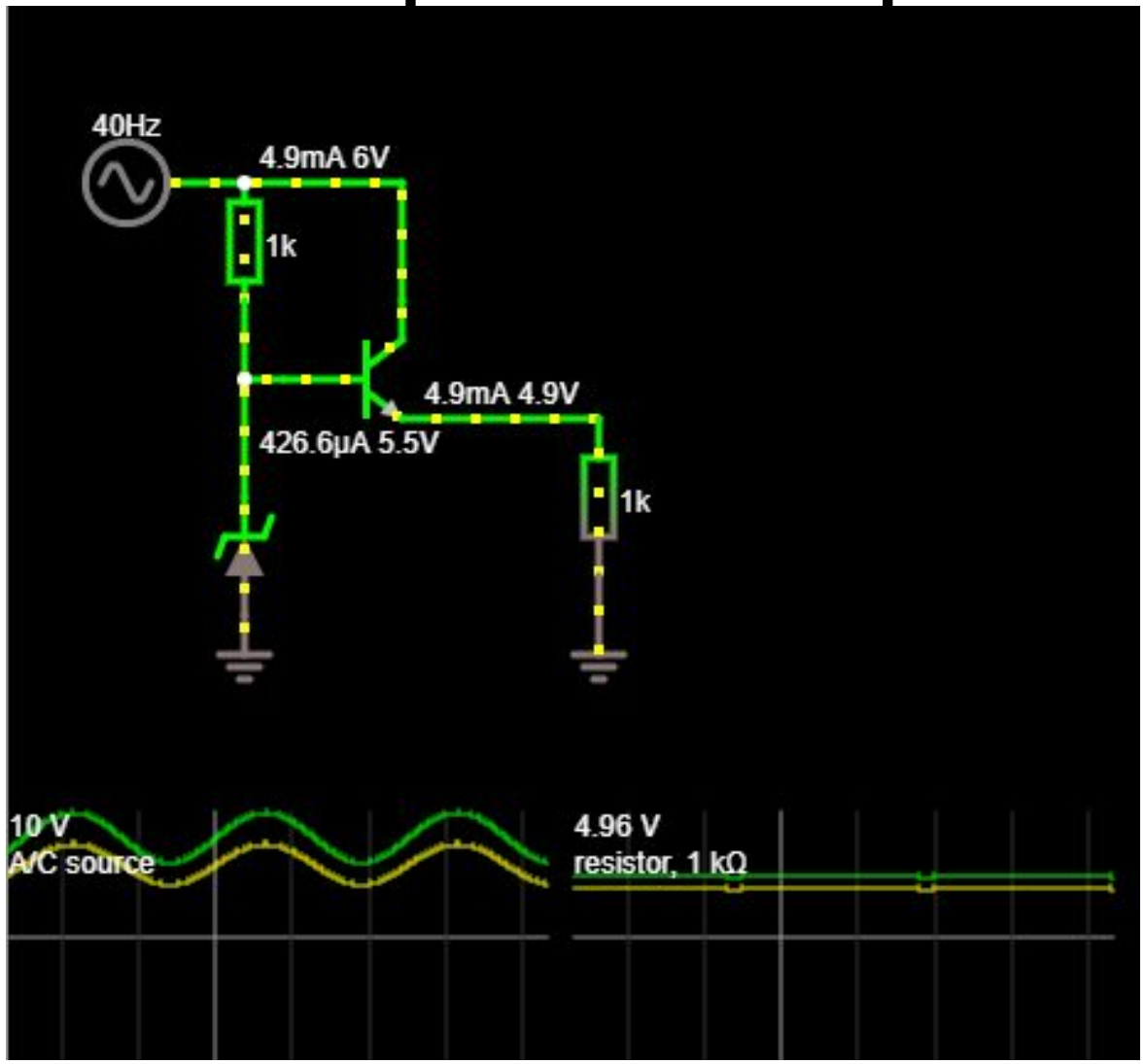
$$\Delta U_{вых} = R_{дин}\Delta I = \left(\frac{R_{дин}}{R}\right)(\Delta U_{вх} - \Delta U_{вых})$$

и наконец, $\Delta U_{вых} = \Delta U_{вх} R_{дин} / (R + R_{дин})$.

В диапазоне изменения входного напряжения ток через зенеровский диод изменяется от 50 мА до 33 мА; изменение тока на 17 мА вызывает изменение напряжения на выходе схемы, равное $\Delta U = R_{дин}\Delta I$, или 0,012 В.

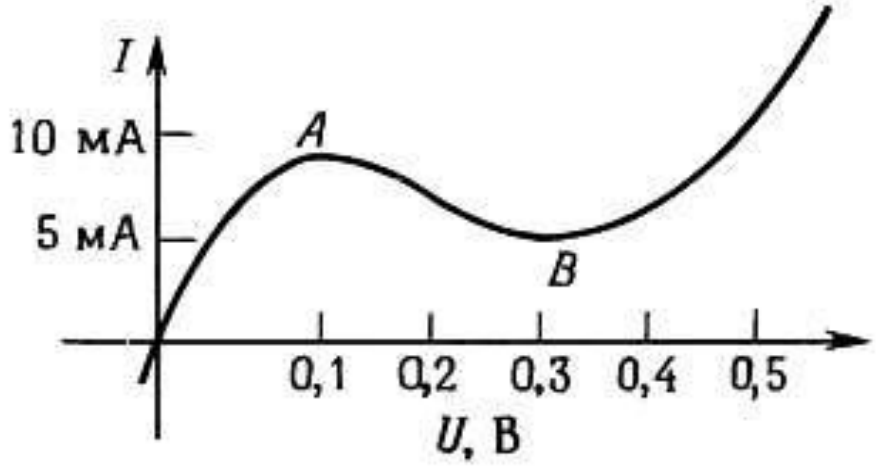


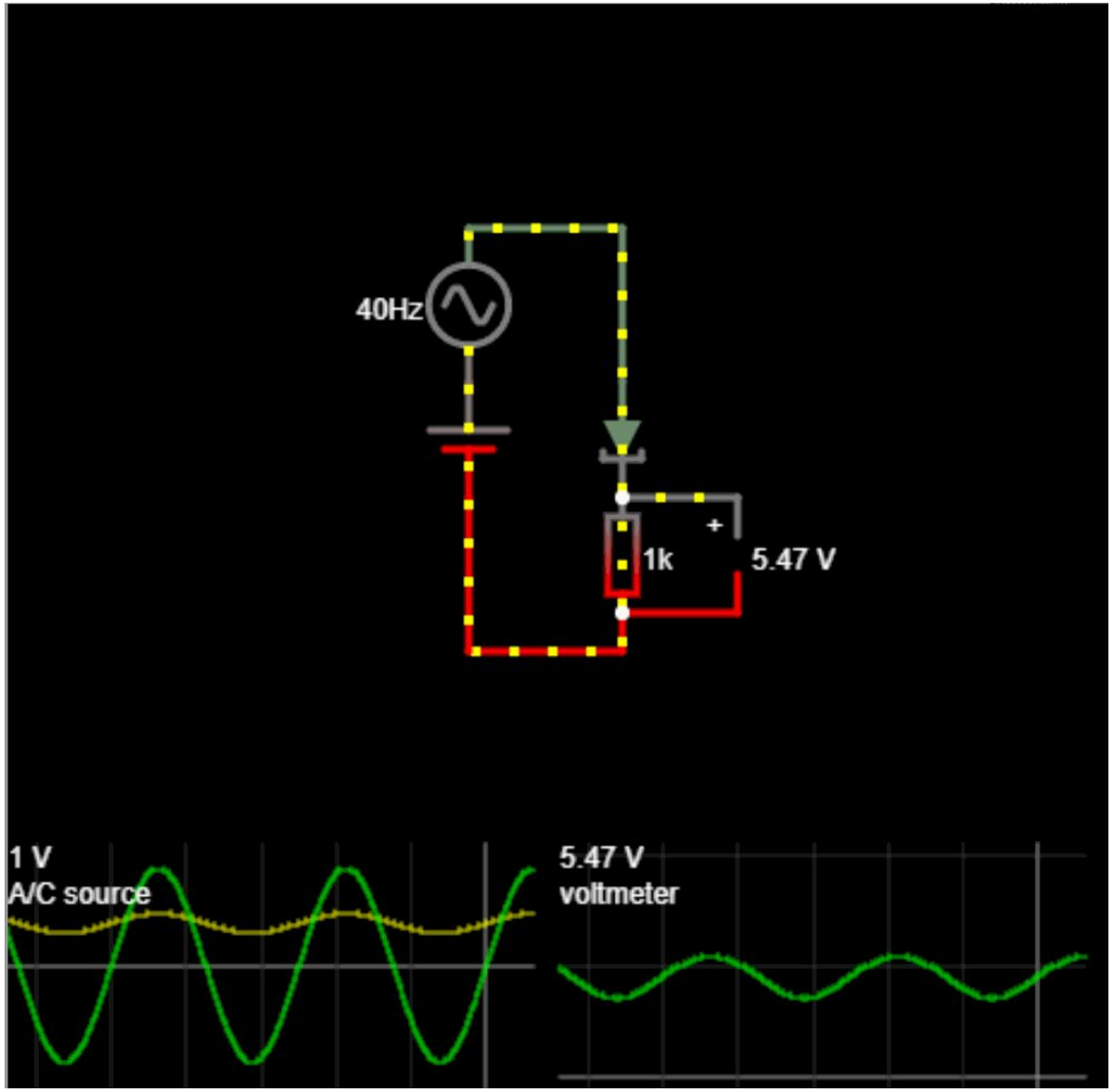
Стабилизатор напряжения на стабилитроне и транзисторе



Туннельный диод

- Отрицательное сопротивление. Усиление

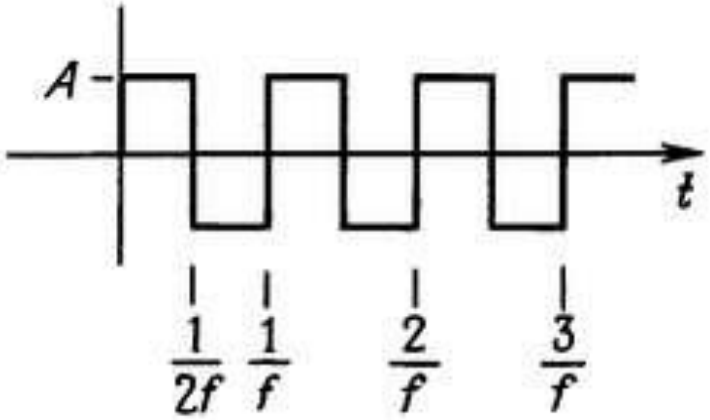


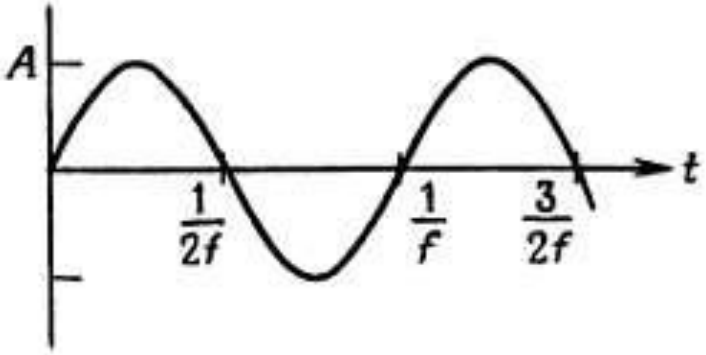


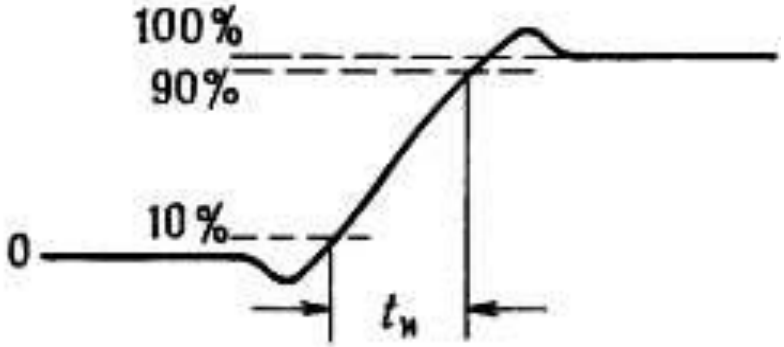
Сигналы

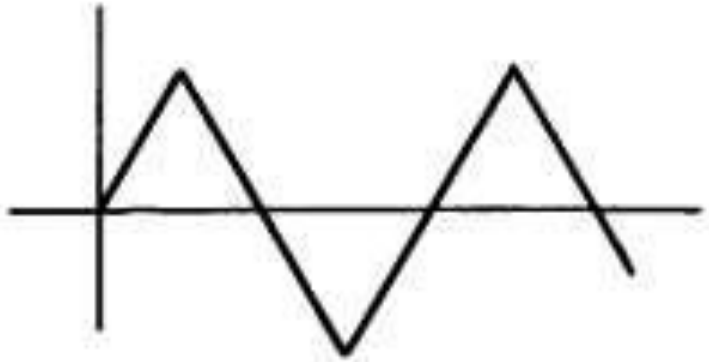
- U = A*sin*2πft,
- где A – амплитуда,

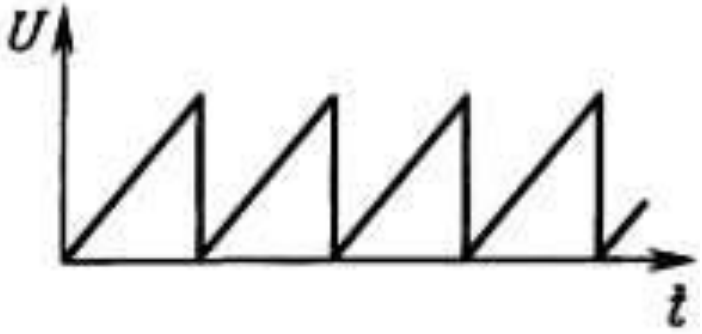
f - частота











Эффективное значение

Измерение сигналов

- $G = 20 \cdot \lg(\frac{U_1}{U_2})$, $G = 20 \cdot \lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$.
- $G = 10 \cdot \lg(\frac{P_1}{P_2})$
- 0 dBV = 1V; (дБВэфф). Относительно эффективного напряжения
- $U_{эфф}$ = (1/√2)A = 0,101A. (Только для синуса).
- 0 dBu = 0,775V = dBm;
- dBfs = dB.
- дБВт = в радио 50 ом, в акустике – 600 ом. (0.22 и 0.775 вольт)

Децибелы

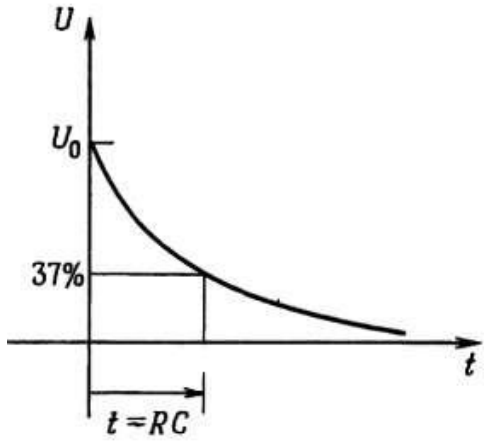
Децибел	Напряжение/ток (множитель)	Мощность (множитель)
0	1	1
1	1.12	1.26
5	1.78	3.16
10	3.16	10
15	5.62	31.6
25	17.8	316
50	316	100 000

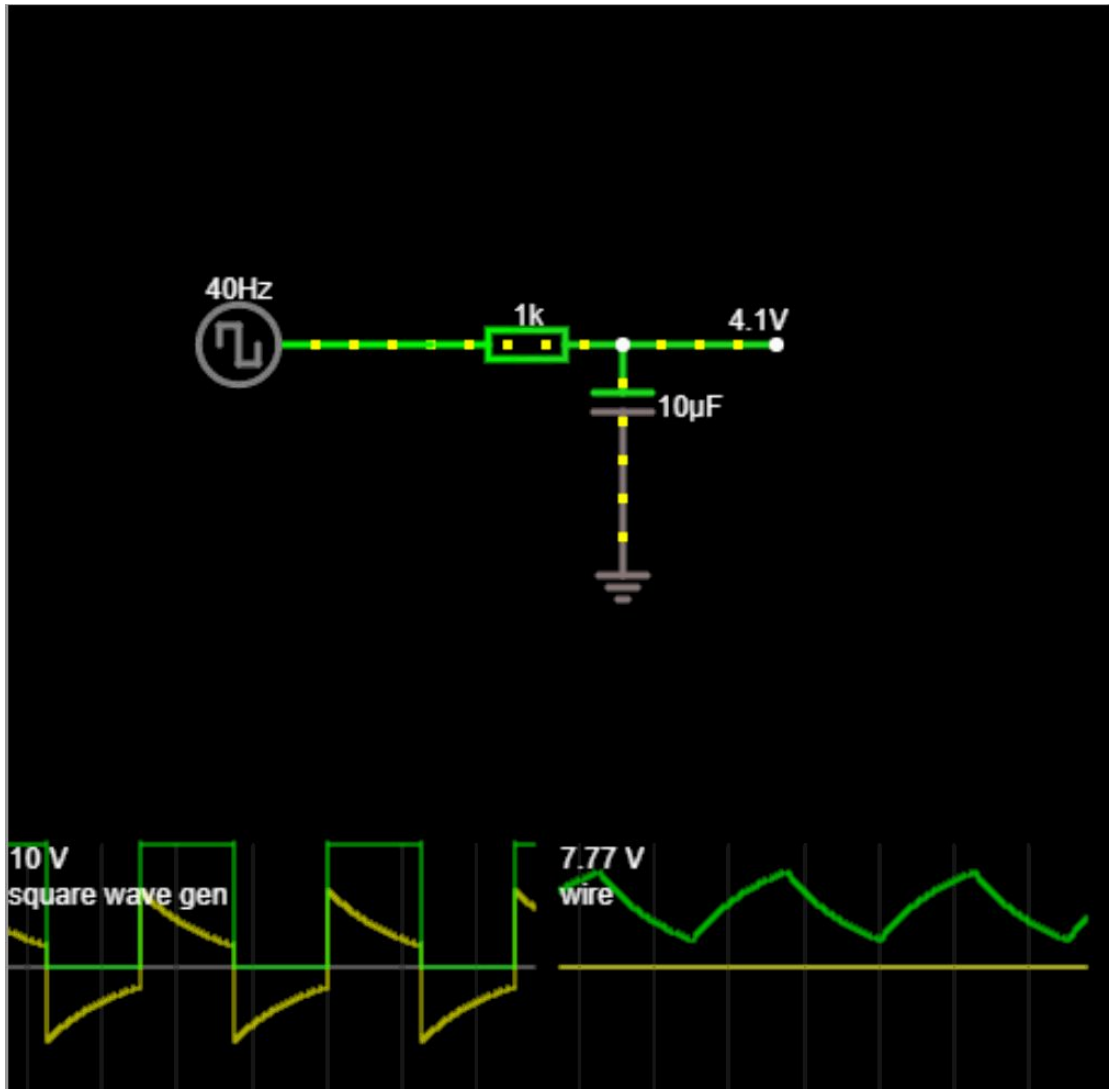
RC-схема

- $$U = A \cdot e^{-t/RC}$$
$$U = U_{\text{вх}} + Ae^{-t/RC}$$

Постоянная величина A определяется из начальных условий $U = 0$ при $I = 0$, откуда

$$A = -U_{\text{вх}} \text{ и } U = U_{\text{вх}}(1 - e^{-t/RC}).$$





Дифференцирующая схема

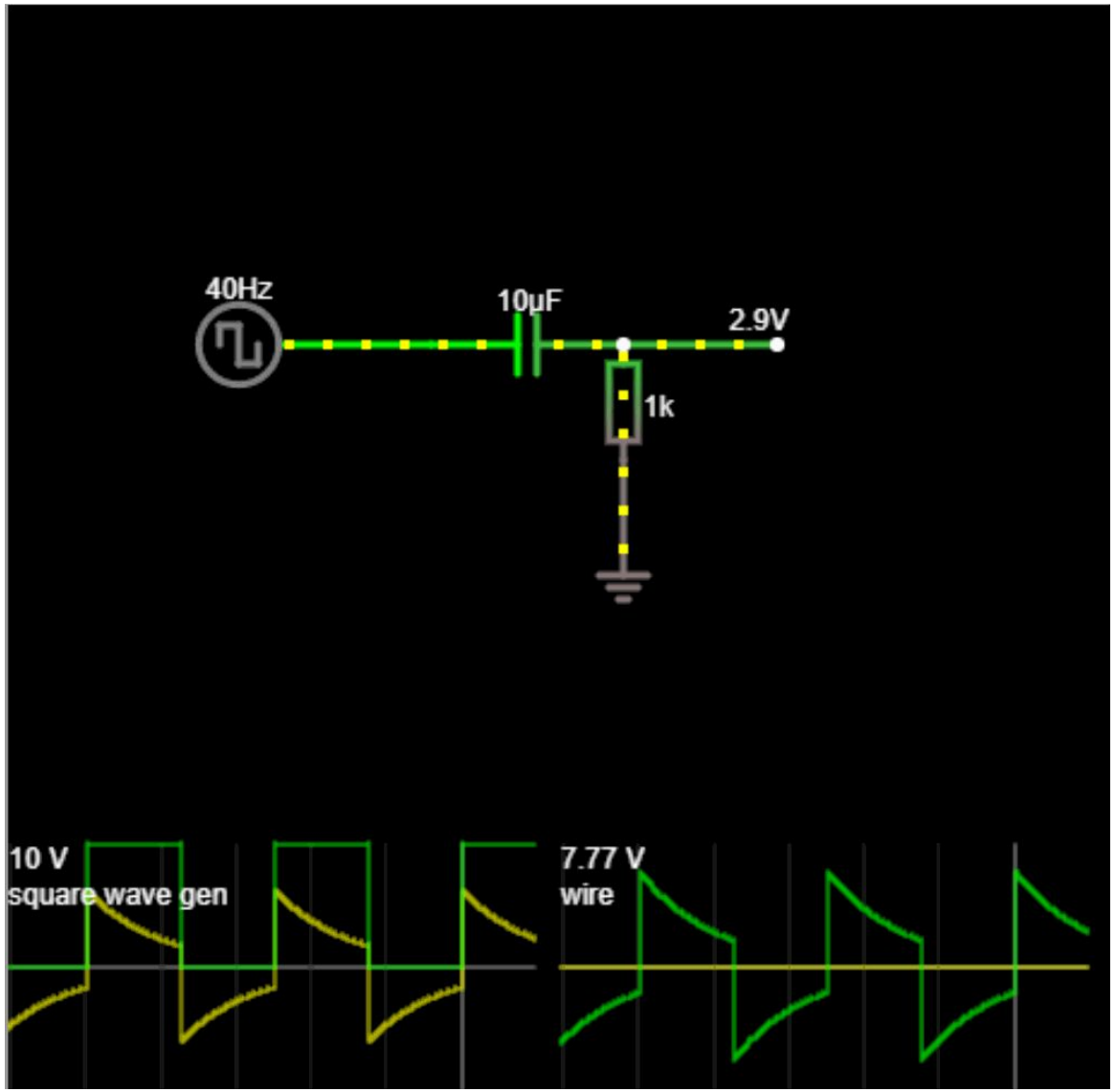
- Если резистор и конденсатор выбрать так, чтобы сопротивление *R* и емкость *C* были достаточно малыми и выполнялось условие

$dU/dt \ll dU_{вх}/dt$, то

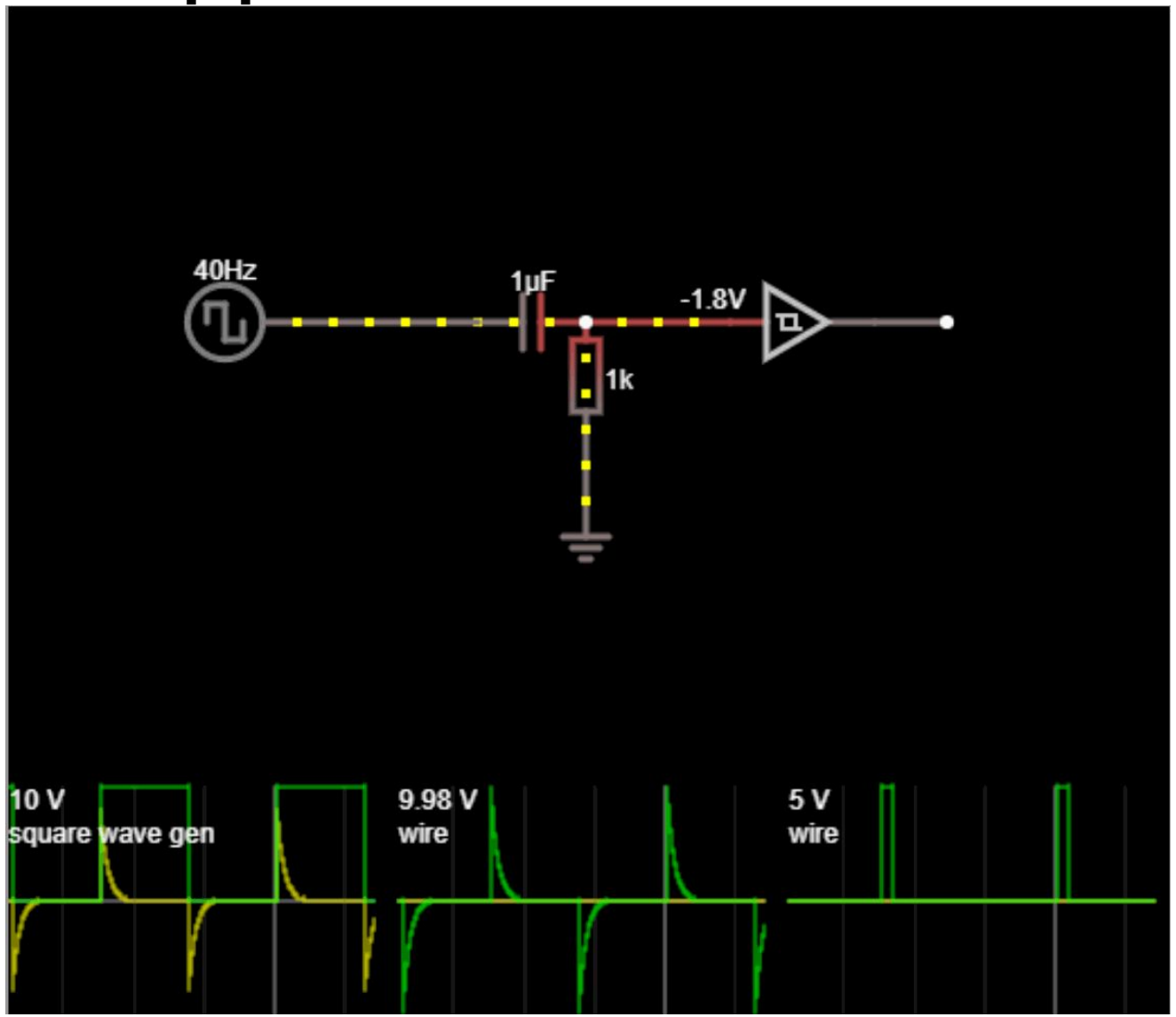
$$C\left(\frac{dU_{вх}}{dt}\right) = \frac{U}{R}$$

или

$$U(t) = RC\left[\frac{dU_{вх}(t)}{dt}\right].$$

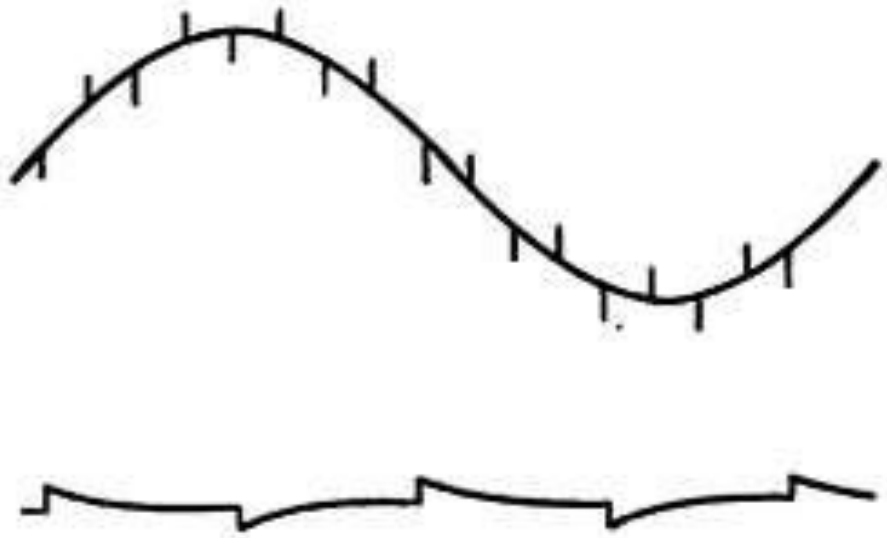


Выделение фронта сигнала



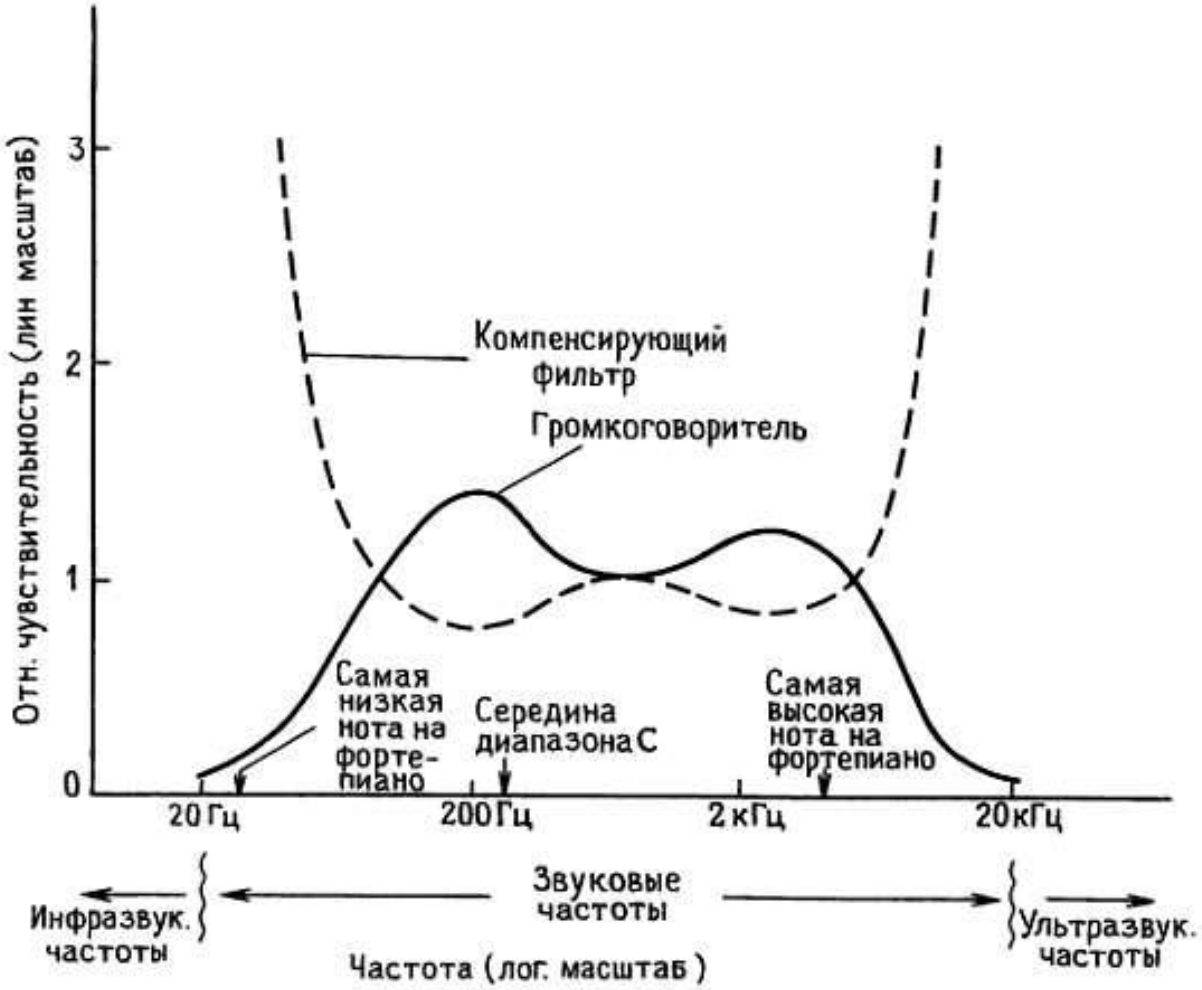
Паразитная емкостная связь

- Импульсная помеха – проверить оконечное сопротивление
- Емкостная помеха – проверить емкость схемы (тестового инструмента)



Полное и реактивное сопротивление

- Линейность компонентов
- Импеданс – полное сопротивление = реактивное сопротивление.



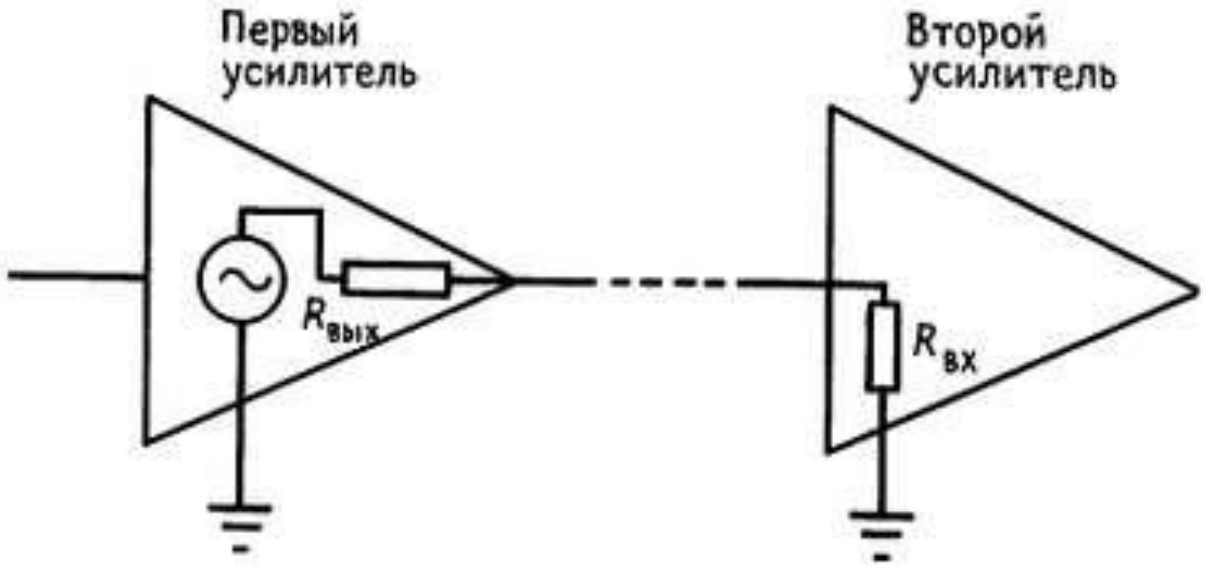
Импеданс источника и нагрузки

$Z_{вых} << Z_{вх}$

$Z_{вых} = Z_{вх}$

Когда передаваемым сигналом является, ток:

$Z_{вх} << Z_{вых}$



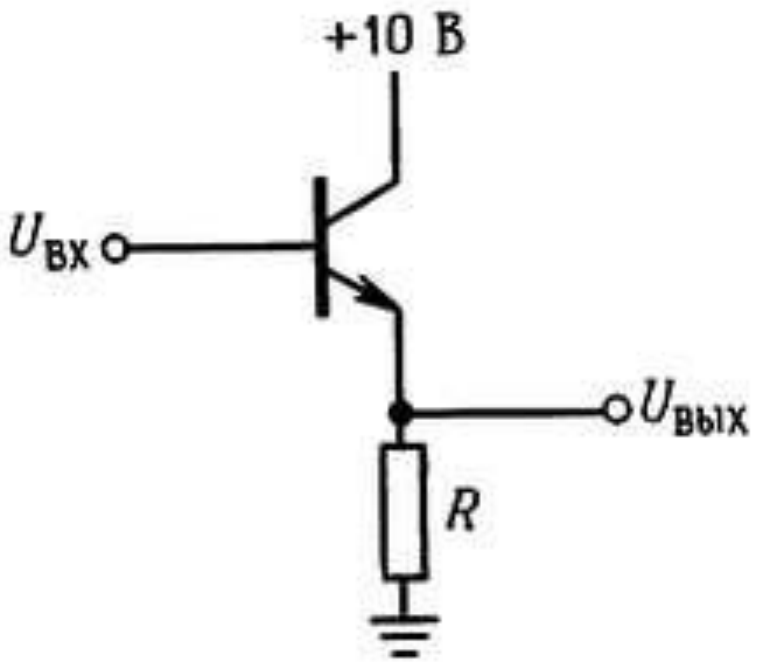
Эмиттерный повторитель

Вход повторителя:

$$\boldsymbol{Z}_{\text{вх}} = (\boldsymbol{h}_{\mathbf{21}\text{э}} + 1)\boldsymbol{Z}_{\text{нагр}}$$

Выход повторителя:

$$\boldsymbol{Z}_{\text{вых}} = \frac{\boldsymbol{Z}_{\text{ист}}}{\boldsymbol{h}_{\mathbf{21}\text{э}} + 1}.$$



Реактивное сопротивление

Сопротивление индуктивности и емкости в цепи постоянного тока:

$$U = 0;$$
$$R = \frac{U}{I} = \frac{0}{I} = 0;$$

$$I = 0;$$
$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{0} = \infty.$$

Сопротивления в цепи переменного тока

- $$X_R = R$$

$$X_C = -\frac{j}{\omega C}$$

или

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимое число, ω = 2πf, C = емкость в фарадах.

$$X_L = j\omega L$$

где L – индуктивность в генри.

Примеры реактивного сопротивления

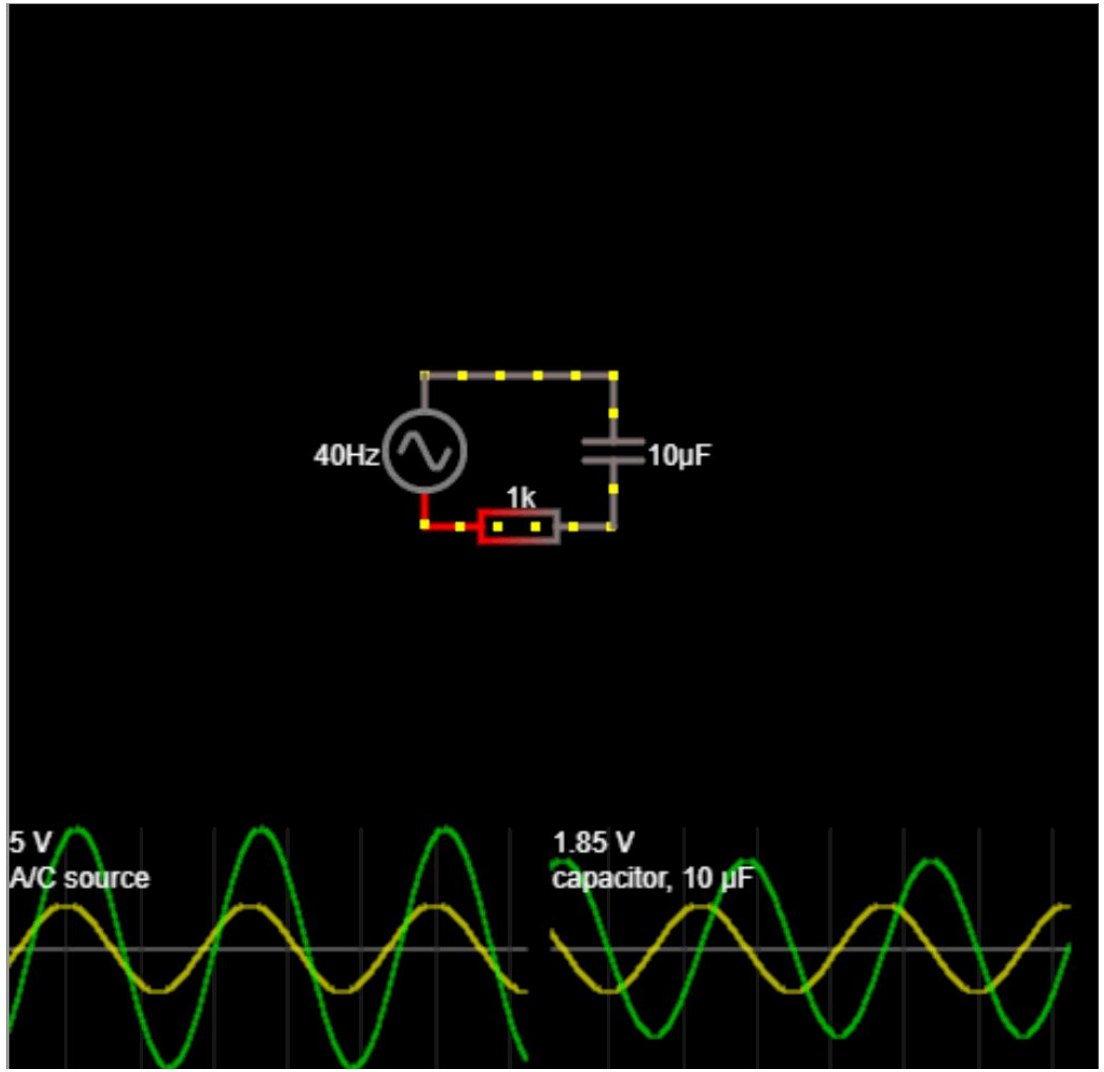
- Импеданс емкости

$$X_C = -j/\omega C$$
$$= -j/(2 * 3{,}14 * 40(Hz) * 0{,}00001(F)$$
$$= -j * 398{,}887 \text{ Ом}$$
$$I = U/Z$$
$$U_t = A * \sin(\omega t)$$

где A = 5√2 = 7,07, тогда

$$I = \frac{7{,}07}{-398{,}887j} * \sin(\omega t) = 0{,}017 * \sin(\omega t) -$$

амплитуда тока – 17 мА, эффективное значение для синуса = 17*1/√2 =12,02 мА

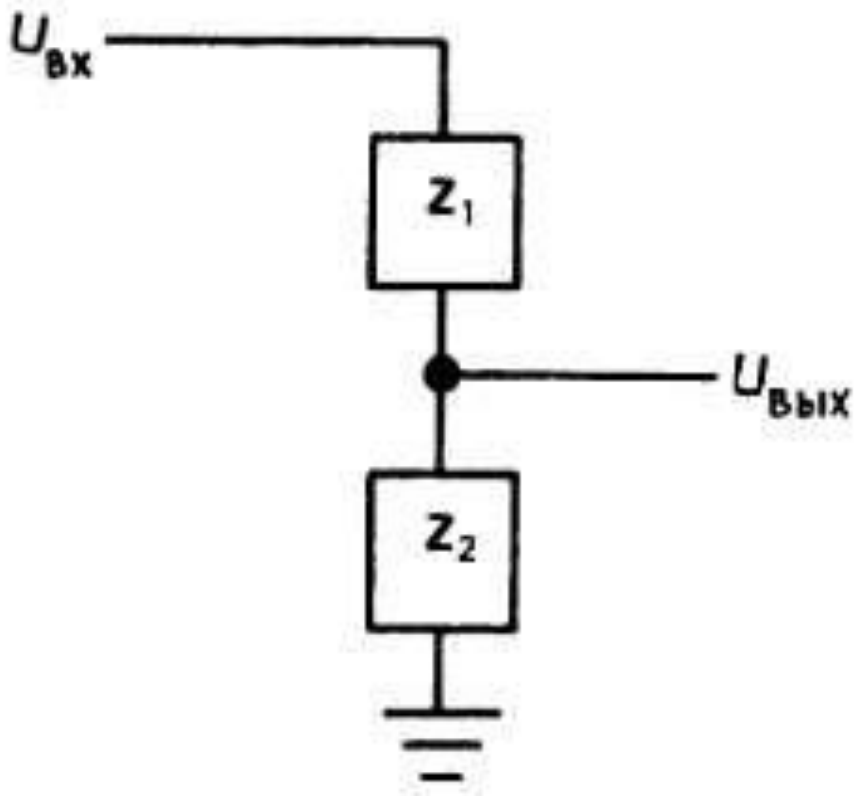


Делители напряжения переменного тока

- $$I = U_{\text{вх}}/Z_{\text{полн}},$$

$$Z_{\text{полн}} = Z_1 + Z_2$$

$$U_{\text{вых}} = Z_2 = U_{\text{вх}}\left[\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}\right]$$



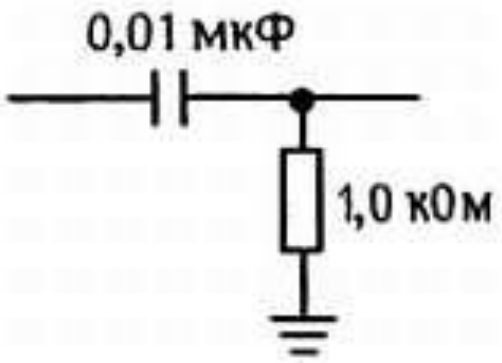
RC – фильтр высоких частот

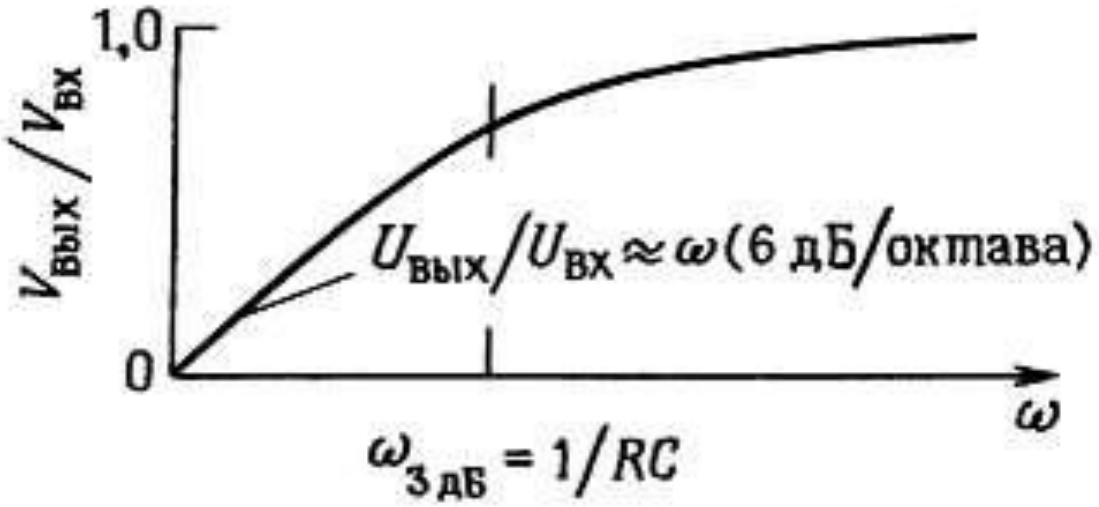
- Если не принимать во внимание сдвиг фаз, а рассматривать только модули комплексных амплитуд, то «отклик» схемы будет определяться следующим образом:

$$\boldsymbol{U}_{\text{вых}} = \boldsymbol{U}_{\text{вх}} * 2\pi \boldsymbol{f} * \frac{\boldsymbol{RC}}{\sqrt{1 + (2\pi \boldsymbol{f} \cdot \boldsymbol{RC})^2}}$$

Точка излома –3 дБ определяется выражением:

$\mathbf{f}_{\mathbf{3дБ}} = 1/2\pi\mathbf{RC}$

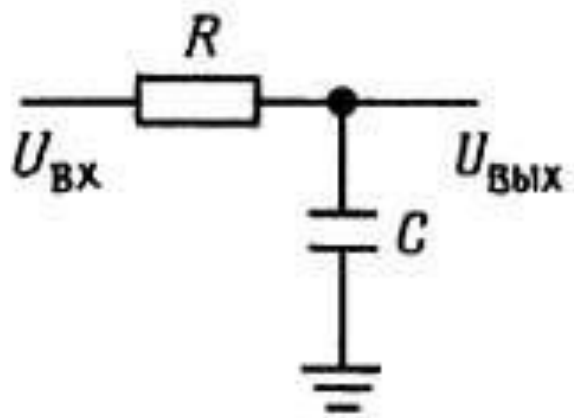


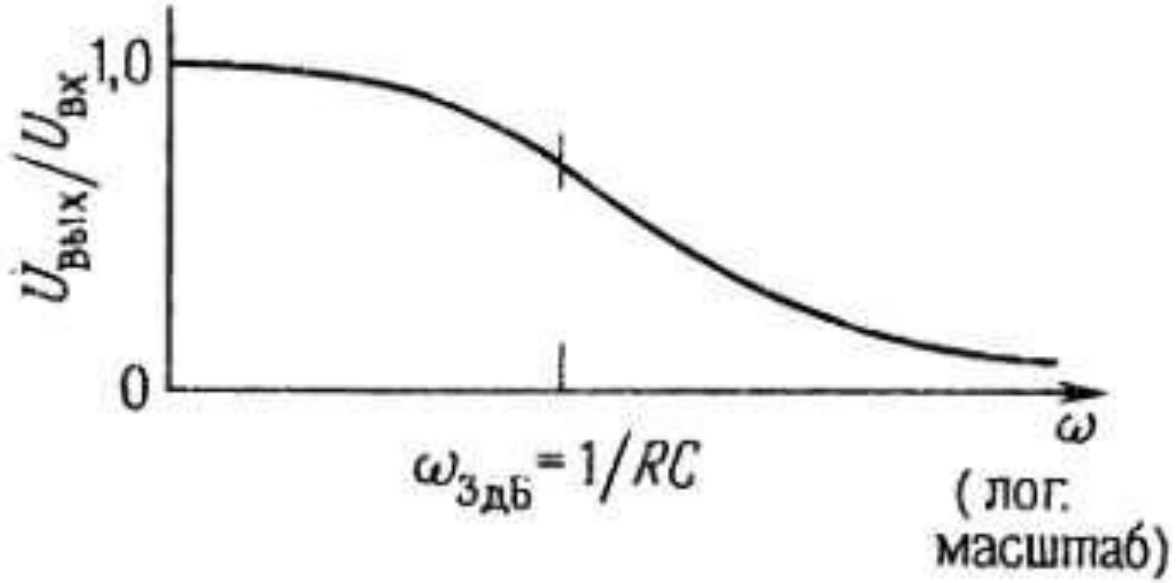


Фильтр низких частот

$$\boldsymbol{U}_{\text{вых}} = \boldsymbol{U}_{\text{вх}} * \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \boldsymbol{\omega}^2 * \boldsymbol{R}^2 * \boldsymbol{C}^2}}\right)$$

Точка –3 дБ на характеристике фильтра находится на частоте **f** = 1/2π**RC**





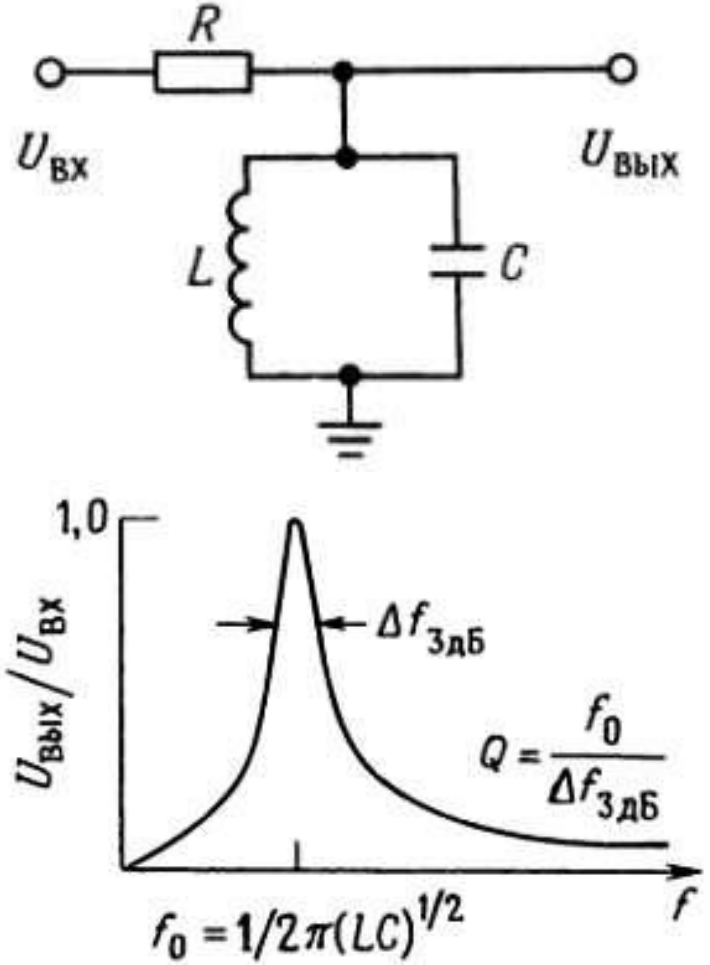
Параллельный LC-фильтр

- На частоте f реактивное сопротивление LC-контура:

$$\frac{1}{\mathbf{Z}_{LC}} = \frac{1}{\mathbf{Z}_L} + \frac{1}{\mathbf{Z}_C} = \frac{1}{j\omega L} - \frac{\omega C}{j} = j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right),$$

или $\mathbf{Z}_{LC} = j/[(1/\omega L) - \omega C]$.

- импеданс параллельной LC-цепи на *резонансной* частоте $\mathbf{f_0} = 1/2\pi(\mathbf{LC})^{1/2}$ стремится к бесконечности
- Для параллельной *RLC* -схемы добротность $\mathbf{Q} = \omega_0\mathbf{RC}$

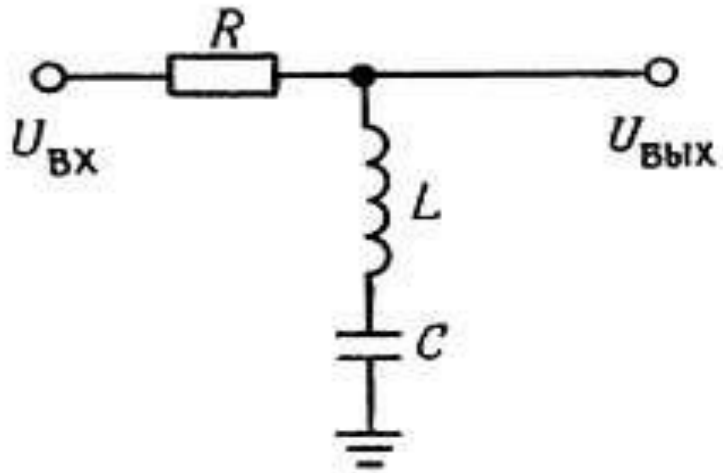


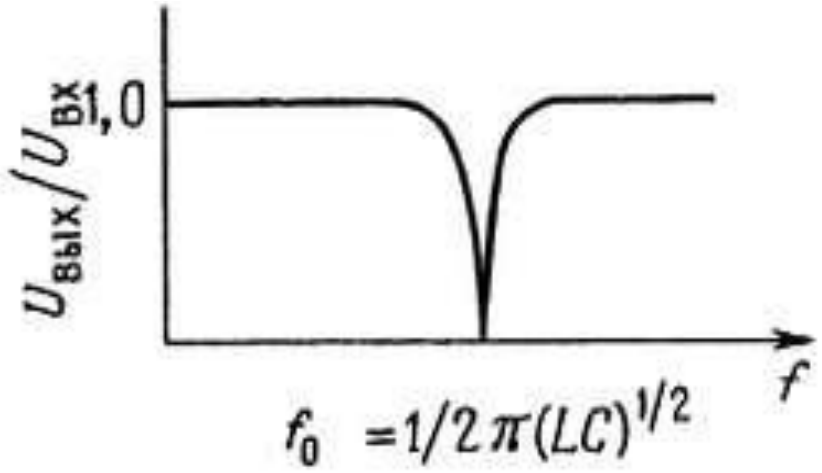
Последовательный LC-фильтр

- импеданс последовательной LC-схемы стремится к нулю на частоте

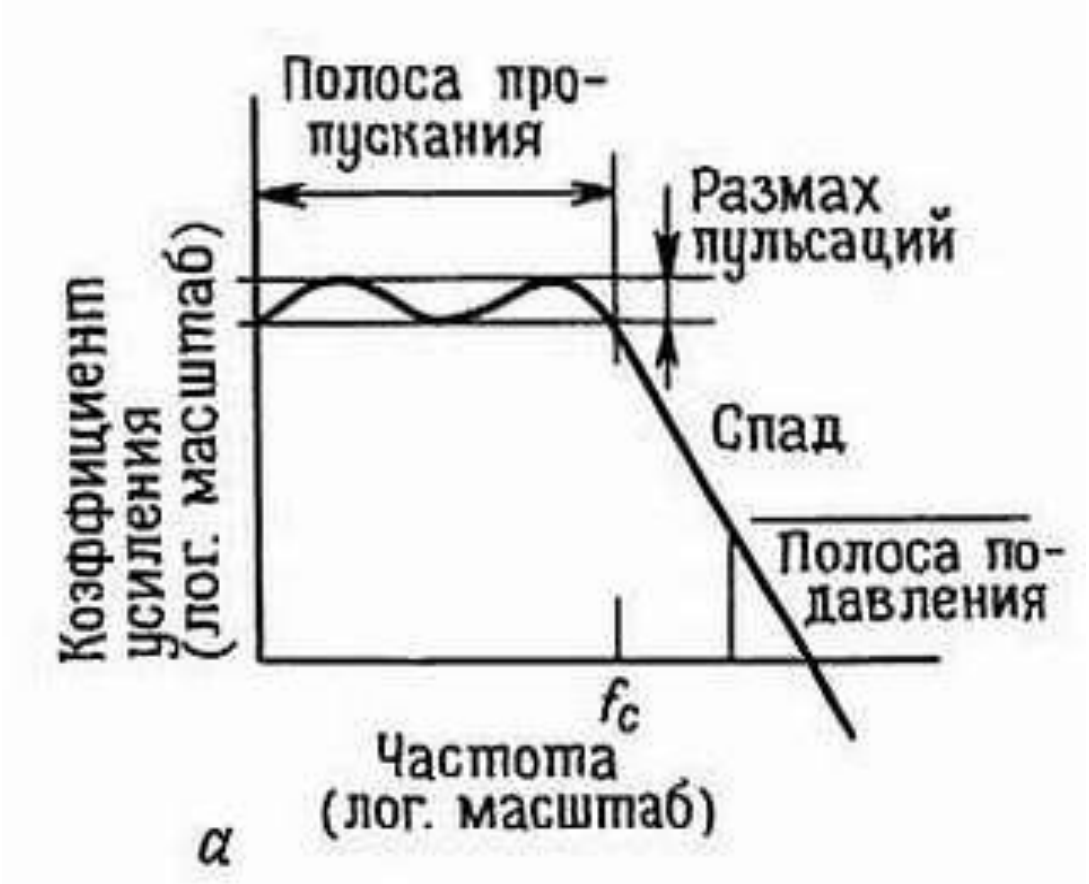
$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{2\pi(LC)}}$$

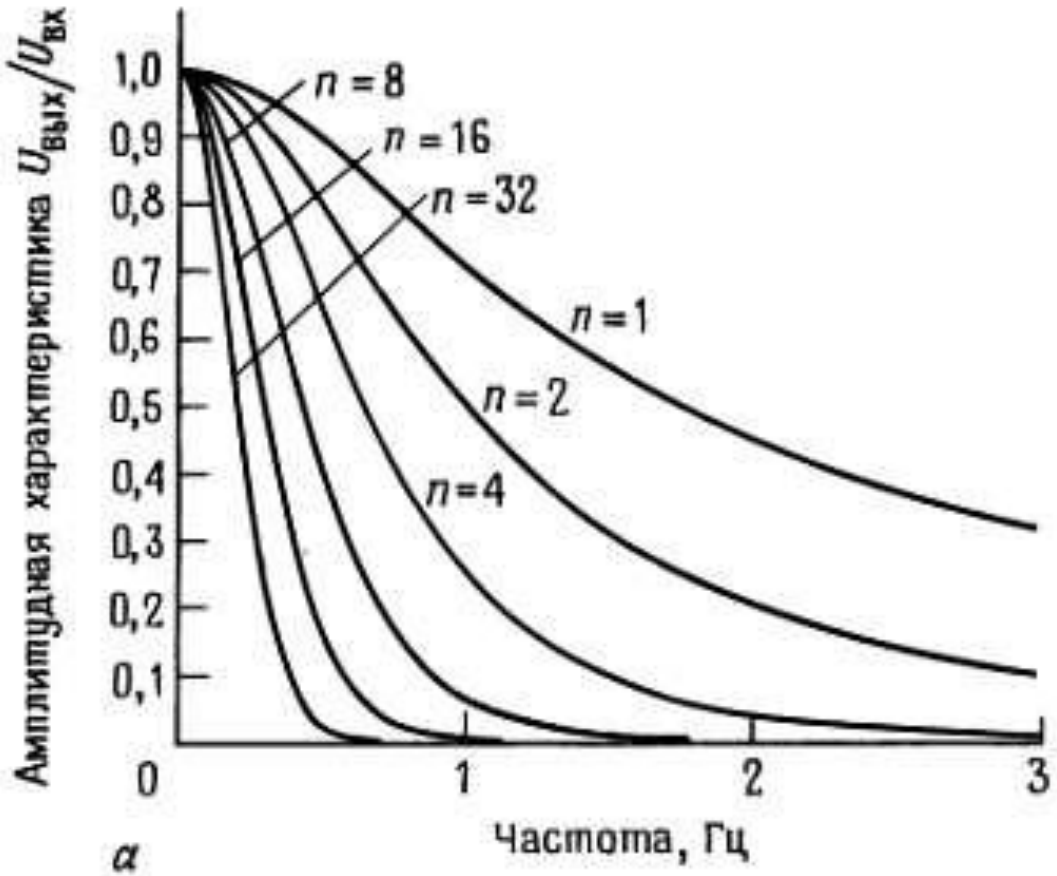
- Для последовательной *RLC* -схемы **Q** = ω_0**L /R**



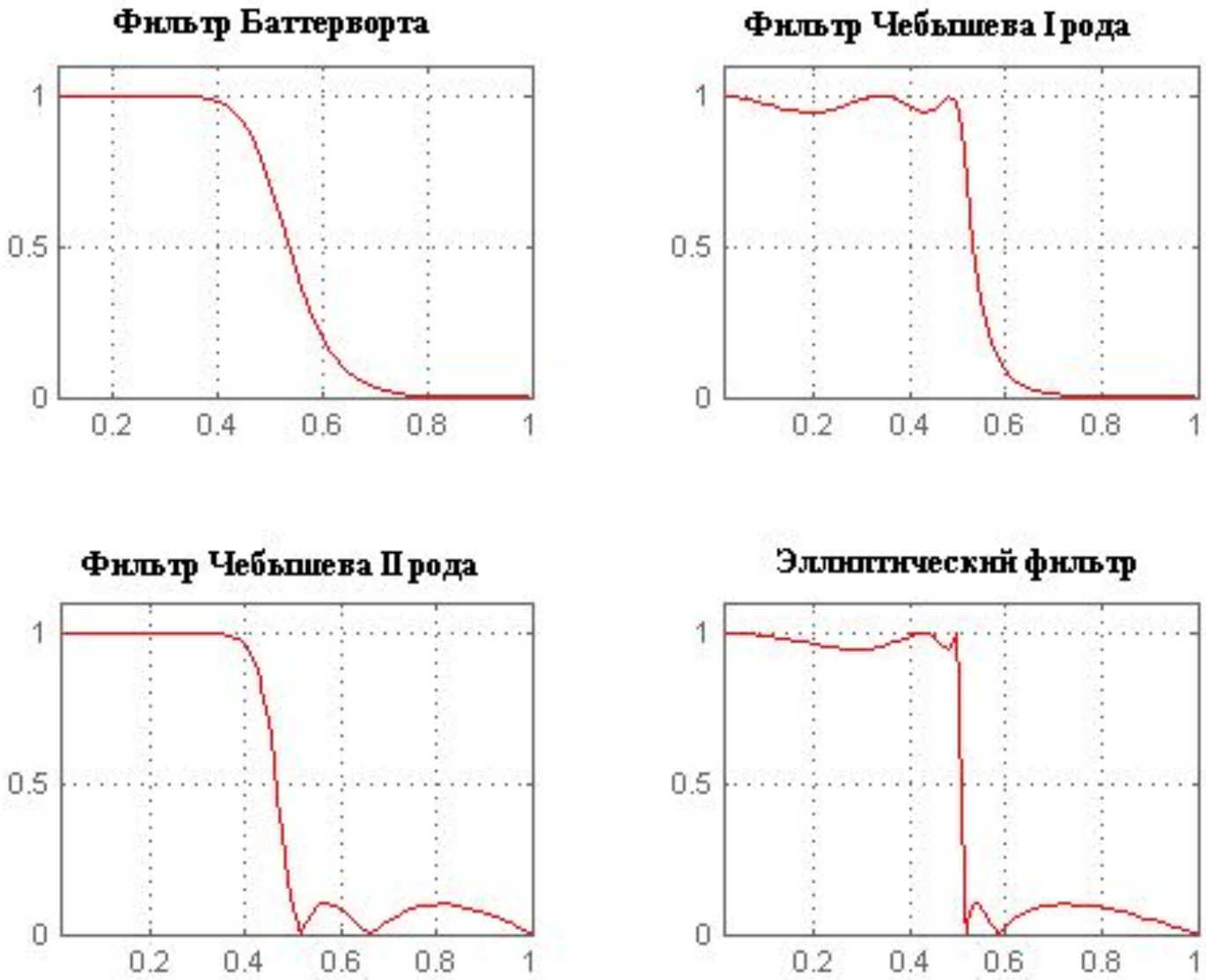


Полоса пропускания и порядок фильтра





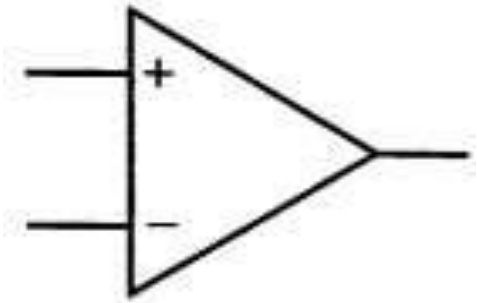
Классические фильтры

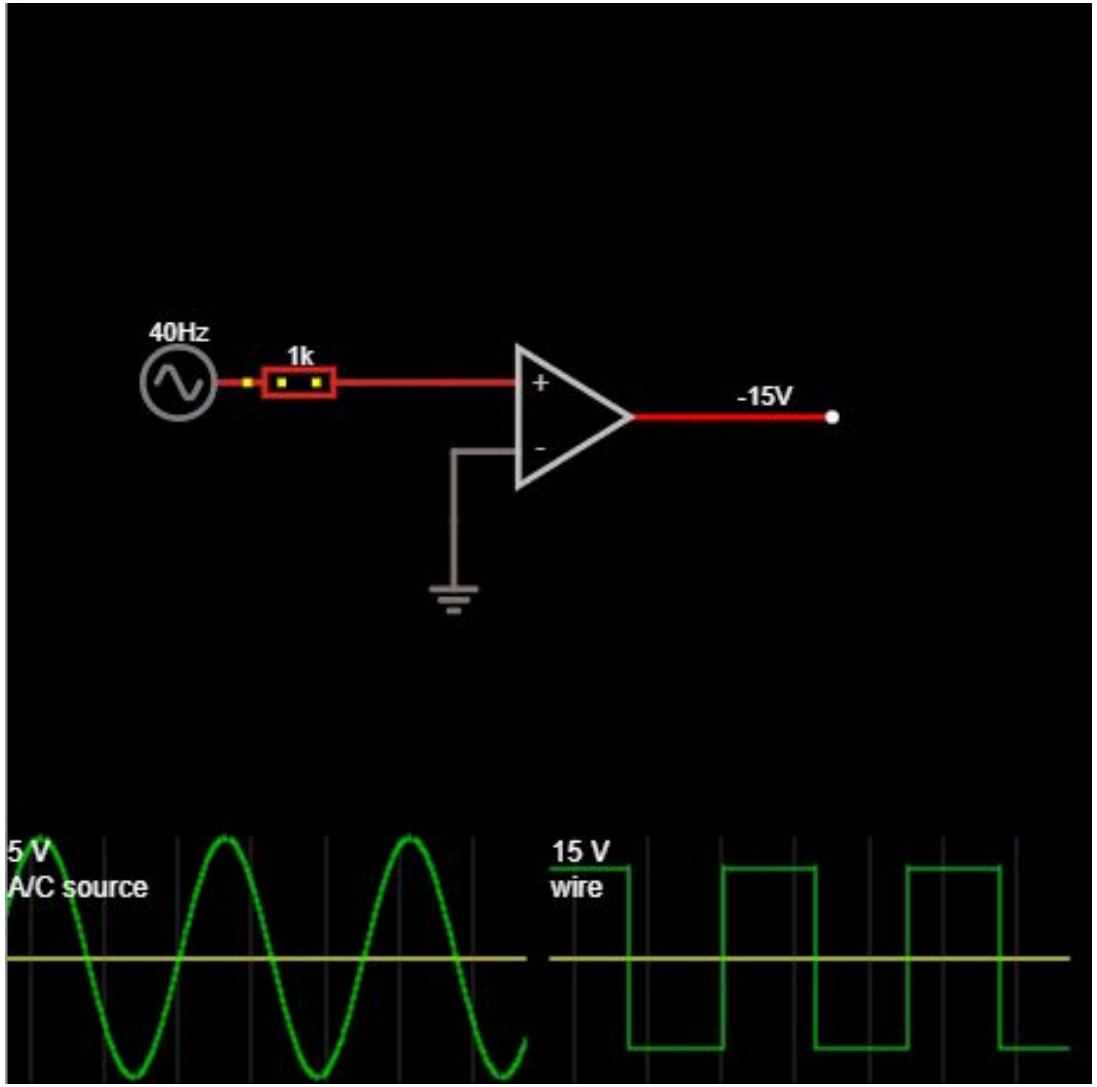


Операционный усилитель

I. Выход операционного усилителя стремится к тому, чтобы разность напряжений между его входами была равна нулю.

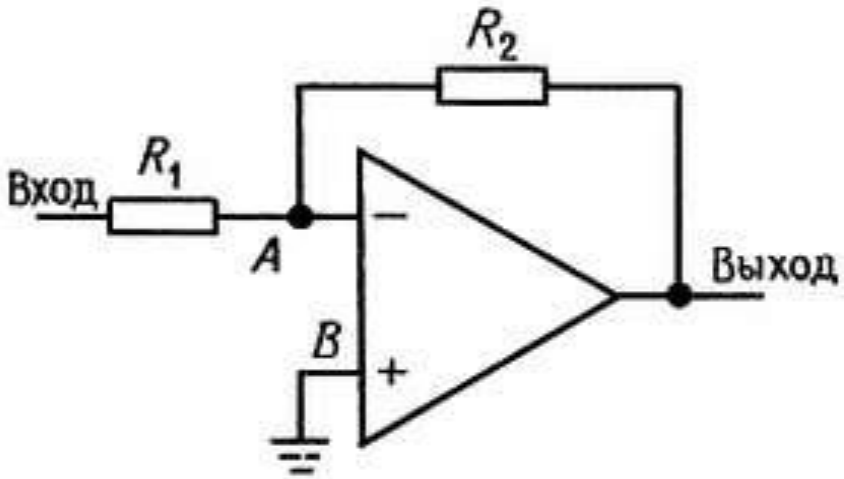
II. Входы операционного усилителя ток не потребляют.

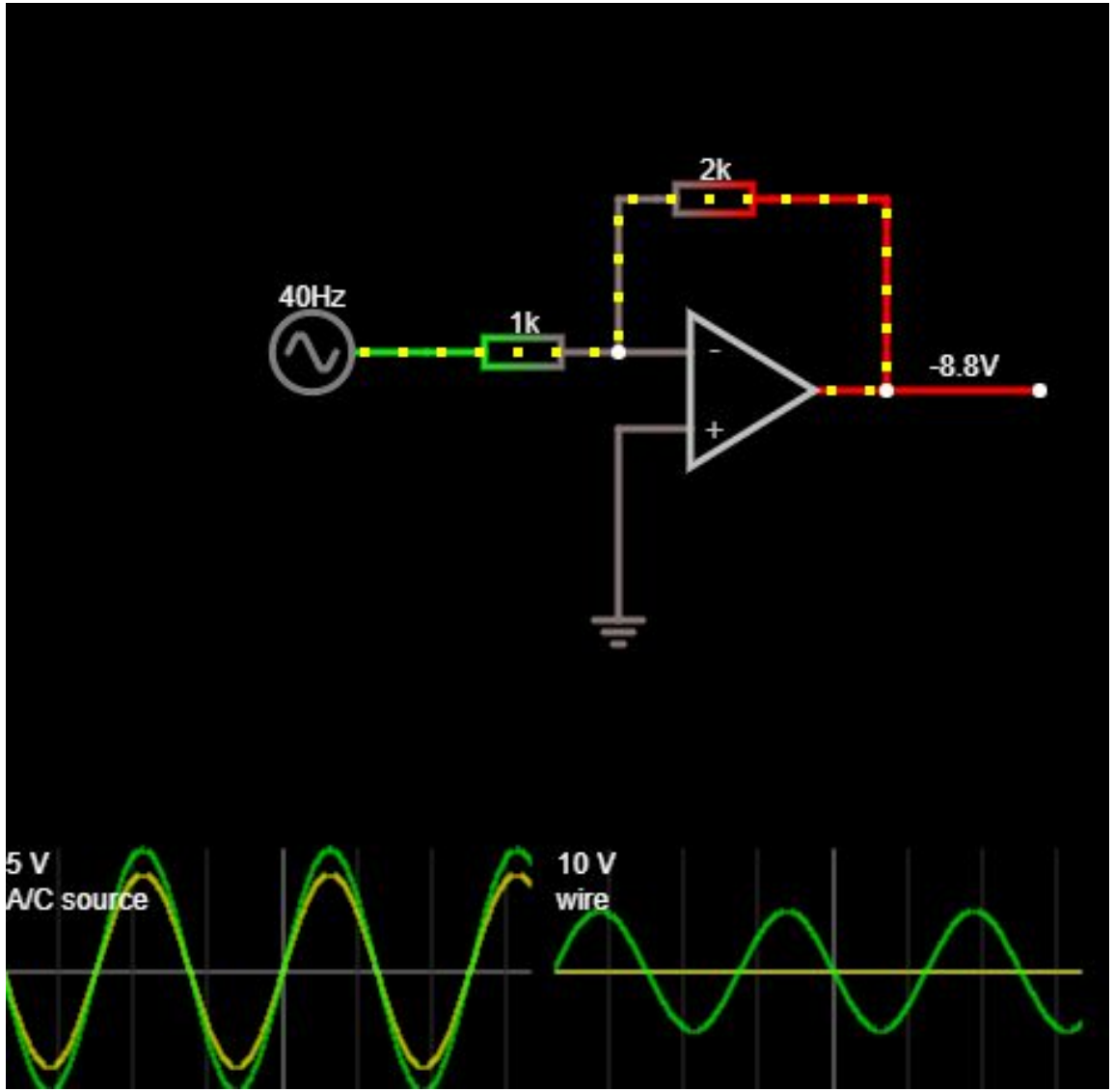




Инвертирующий усилитель

$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$



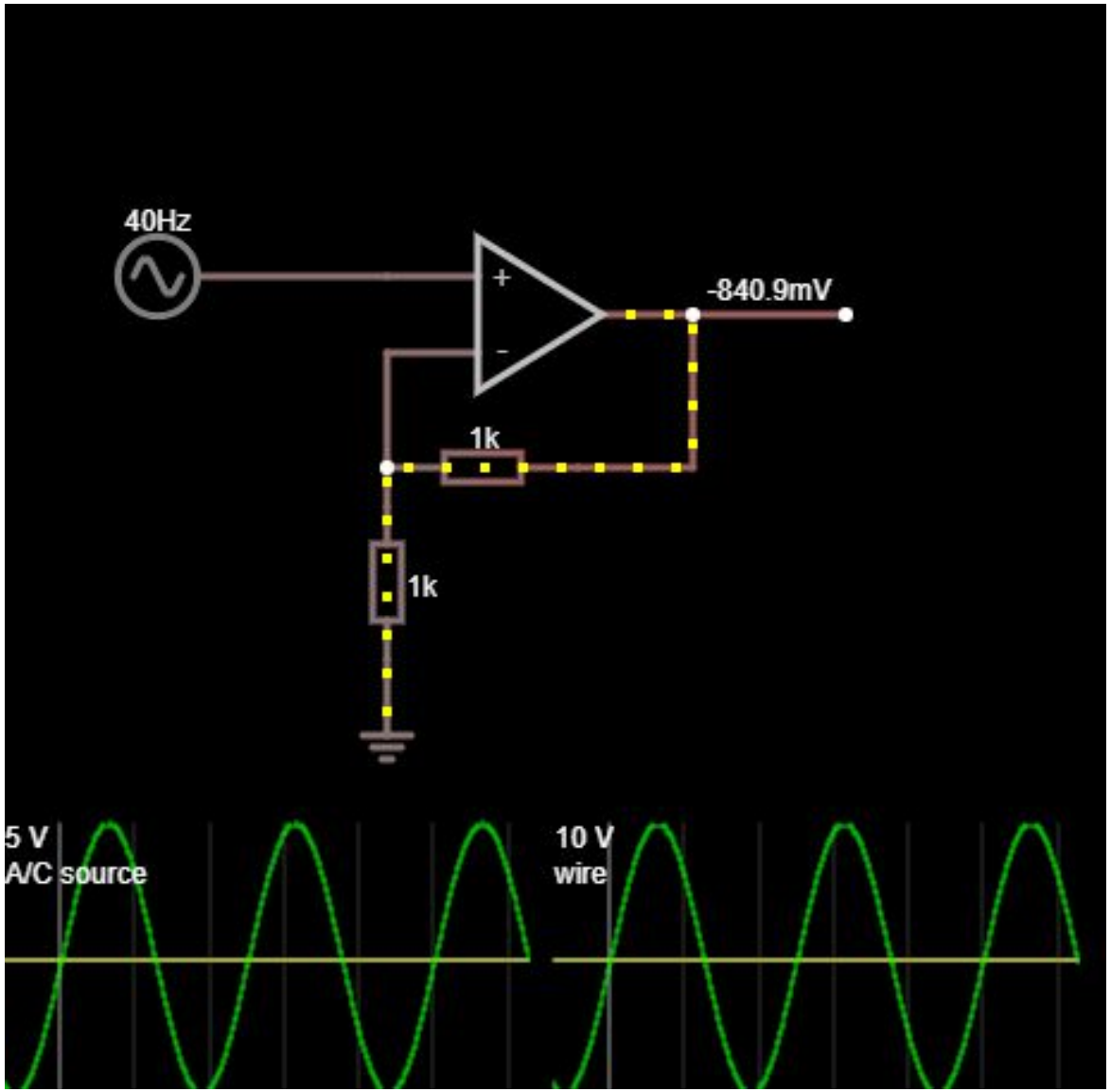


Неинвертирующий усилитель

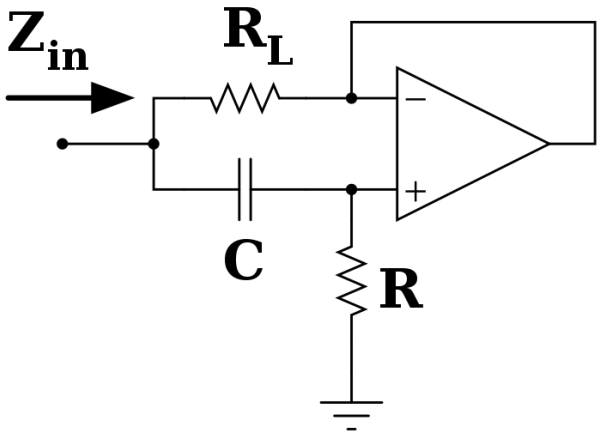
$$\dot{U}_A = \frac{U_{вых} R_1}{R_1 + R_2}$$

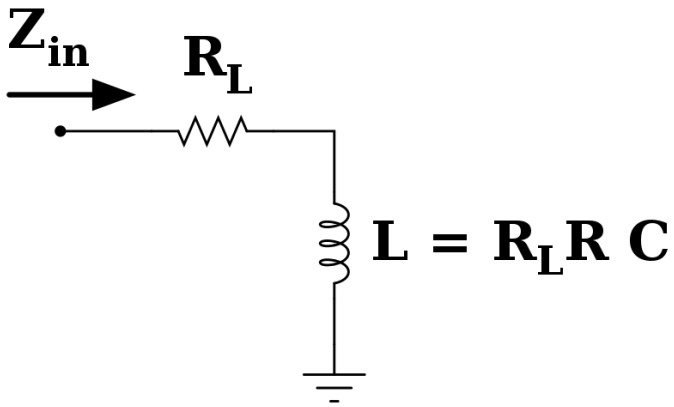
Если $U_A = U_{вх}$, то коэффициент усиления =

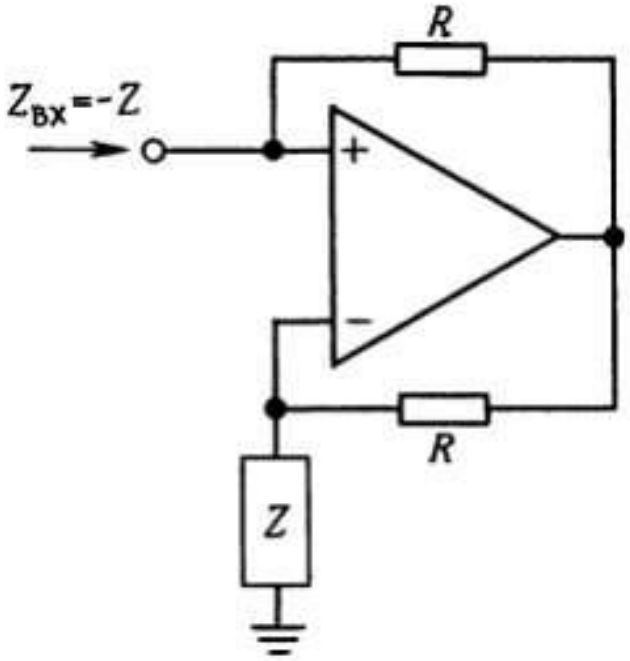
$$\frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



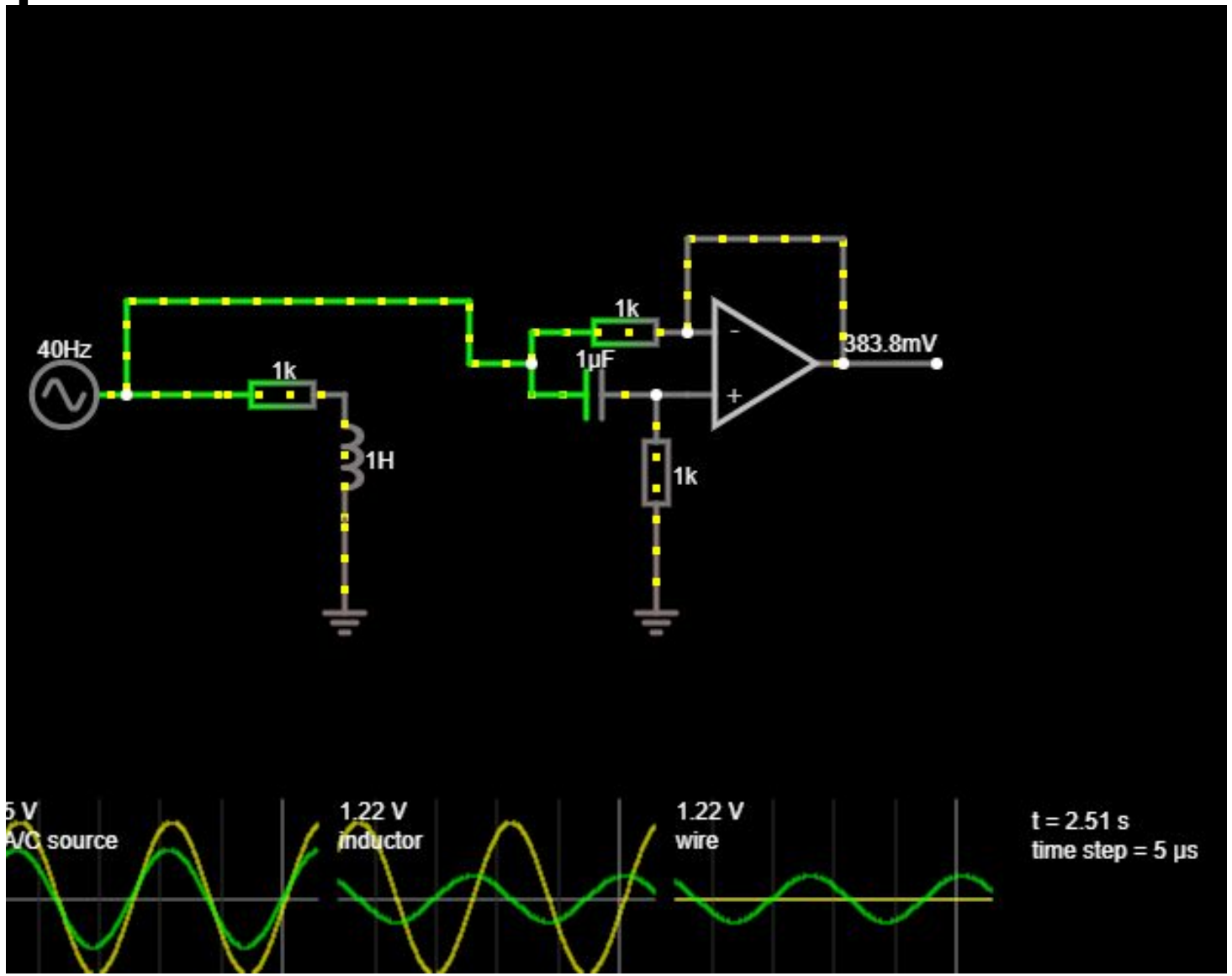
Гиратор и преобразователь КОС







Гиратор


40Hz
1k
1H
1k
1μF
1k
383.8mV
5 V
A/C source
1.22 V
inductor
1.22 V
wire
t = 2.51 s
time step = 5 μs

Спасибо за внимание!