

Радиотехническая работа 24

Безынерционные линейные цепи

Выполнил Жданов Елисей Б01-205

1 Оборудование:

Макетная плата

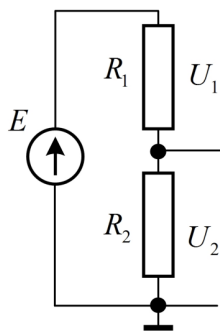
Набор резисторов различных номиналов

Электронный осциллограф на печатной плате

Электронный генератор сигналов на печатной плате

2 Задание

2.1 Делитель напряжения



(а) Делитель напряжения

2.1.1 Теория

В схеме делителя напряжения на рис. 16 напряжение E идеального источника делится на части U_1, U_2 ($U_1 + U_2 = E$), падающие на резисторах R_1, R_2 .

Делитель - это распространенное схемное решение для преобразования источника питания E в источник опорного напряжения с требуемым эквивалентным напряжением $E^* = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ и внутренним сопротивлением $R^* = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \parallel R_2$, равным параллельному соединению сопротивлений R_1, R_2 .

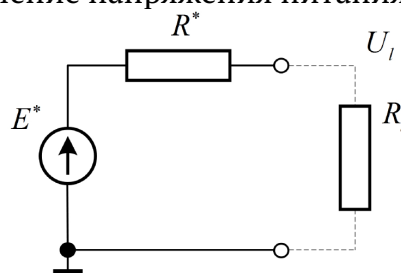
Делитель естественным образом возникает, когда источник во внутренним сопротивлением R_1 подключается к нагрузке R_2 , рис. 16. Это сопровождается потерей уровня сигнала источника, выражаемой коэффициентом передачи $K = \frac{u}{e} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

2.1.2 Выполнение

1. Соберем заданную схему на макетной плате. Подключим центральный узел схемы к измерительной ноге платы - генератора.

Для схемы были выбраны резисторы $R_1 = 3$ кОм, а $R_2 = 12$ кОм (из пропорции $\frac{E - E^*}{R_1} = \frac{E^*}{R_2}$).

Теоретически выбранное значение напряжения $E^* = 2$ В, практически же $E^* = 2.056$ В. Различие действительно мало с учетом погрешности сопротивлений подобранных резисторов. Подаваемое значение напряжения питания $E = 10$ В.

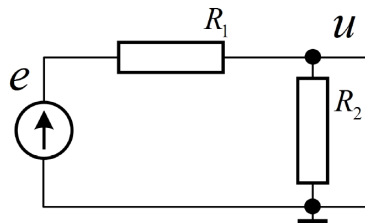


(b) Эквивалентный источник

Внутреннее сопротивление определим по методу двух нагрузок: измерим напряжение холостого хода на выходе делителя $U_{oc} = E^* = 2.056$ В и напряжение $U_l = 0.9473$ В на дополнительно подключенном резисторе нагрузки $R_{l*} = 2$ кОм, см рисунок 16b. Внутреннее сопротивление R^* оценим из пропорции

$$\frac{E^* - U_l}{R^*} = \frac{U_l}{R_l}$$

Итого $R^* = 2.34$ кОм. Теоретическое значение же равно $R^* = 2.4$ кОм, что тоже довольно близко.



(c) Подключение источника к нагрузке

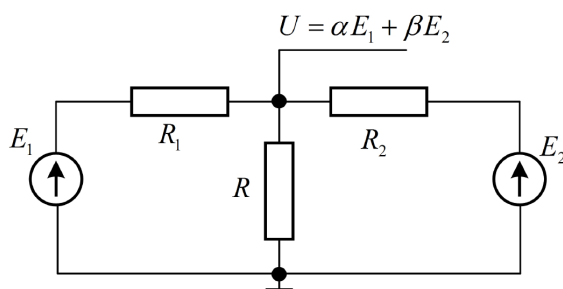
2. Подадим а вход делителя синусоидальное напряжение $e = 1.02$ В от лабораторного источника. На основании эффективного значения напряжения $u = 200.5$ мВ, рассчитаю коэффициент передачи $K = \frac{u}{e} = 0.1966$, что почти равно теоретическому значению $K = \frac{u}{e} = 0.2$.

2.1.3 Вывод

Проведенные эксперименты подтверждают полученные теоретические выкладки. Разница между получаемыми теоретическими и практическими величинами почти постоянна и составляет около 2-3%, что позволяет определить её как точность маркировки номиналов резисторов.

2.2 Параллельный сумматор

2.2.1 Теория

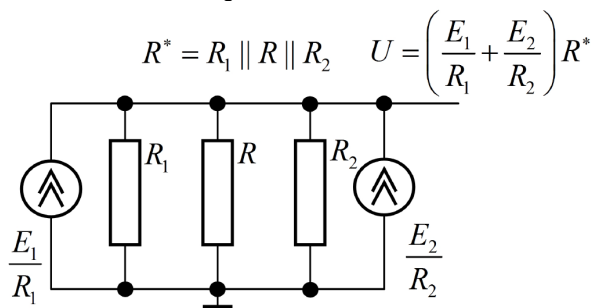


(а) Параллельный сумматор

Схема на рисунке реализует параллельный сумматор, выход U которого является взвешенной суммой входных напряжений E_1 и E_2 с коэффициентами α и β

$$U = \alpha E_1 + \beta E_2$$

Приравняв к нулю напряжение E_2 (короткое замыкание на выходе) легко увидеть что α - это коэффициент передачи делителя напряжения на резисторах R_1 и $(R \parallel R_2)$: $\alpha = \frac{R \parallel R_2}{R_1 + R \parallel R_2}$. Аналогично, $\beta = \frac{R \parallel R_1}{R_2 + R \parallel R_1}$. Замена левого и правого источников напряжения эквивалентными источниками тока приводит к эквивалентной схеме на рис. 17 б



(b) Его эквивалентная схема

Из схемы становится ясно, что

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{R_2}{R_1}; \quad \alpha + \beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1 \parallel R_2}{R}},$$

а сопротивление эквивалентного источника составляет $R^* = R_1 \parallel R \parallel R_2$.

2.2.2 Выполнение

1. Выберем компоненты сумматора по заданным весовым коэффициентам $\alpha = 0.4, \beta = 0.2$. Резистор R_1 возьмем номиналом 1.8 кОм. Резистор R_2 определить из соотношения $\frac{R_2}{R_1} = \frac{\alpha}{\beta} = 2$, то бишь 3.6 кОм. Наконец, номинал резистора R из соотношения

$$\alpha + \beta = 0.6 = \frac{1}{1 + \frac{R_1 \parallel R_2}{R}}$$

составит 1.8 кОм.

2. Соберем схему сумматора на макетной плате. Подадим синусоидальное напряжение с заданной амплитудой 2 В на вход E_1 и постоянное напряжение +5 В на вход E_2 . На осциллографе уровень постоянной и амплитуду переменных составляющих в суммарном сигнале составит $U_{\sim} = 1.12$ В и $U_{\sim} = 0.765$ В соответственно. Тогда коэффициенты $\alpha = 0.3825$ и $\beta = 0.224$.

Для реализации метода двух нагрузок подключу схему к постоянному току, и присоединю к узлам схемы резистор номиналом 2 кОм. Значение $U_l = 3.7$ В при напряжении $E_2 = 5$ В, а значит $R^* = 700$ Ом, что довольно близко к теоретическому значению $R^* = 720$ Ом.

2.2.3 Вывод

Больше всего от теоретического значения отличается значение α (порядка 10%), что объяснимо неточностью номинала резистора и прочими неучтенными факторами. Зато остальные значения отличаются от теоретических меньше чем на 5%, что является хорошим совпадением.

2.3 Н-параметры

2.3.1 Теория

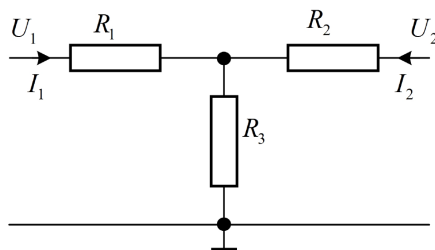


Рис. 18. Т-образная схема

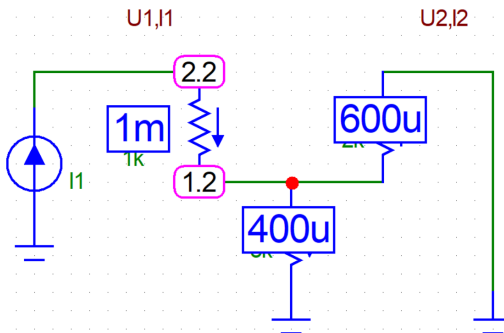
1. Для схемы на рисунке приведены формулы для H -параметров.

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + R_3 \parallel R_2 & \frac{R_3}{R_3 + R_2} \\ \frac{R_3}{R_3 + R_2} & \frac{1}{R_3 + R_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ U_2 \end{pmatrix}.$$

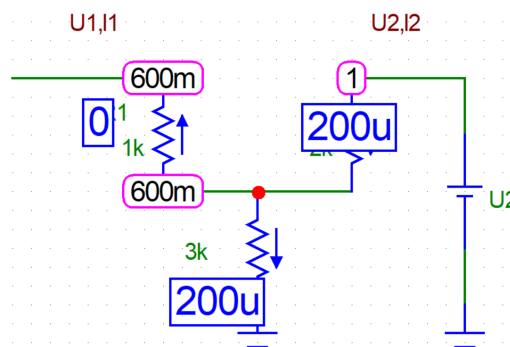
Для выбранных значений номиналов резисторов, напряжений и токов значения параметров

$$\begin{pmatrix} h_{11} = 2200 \text{ Ом} & h_{12} = 0.6 \\ h_{21} = 0.6 & h_{22} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ См} \end{pmatrix}$$

2.3.2 Выполнение



2. В программе Micro-Cap по схеме выше с коротким замыканием на выходе ($U_2 = 0$) и источником тока I_1 на входе измерим $U_1 = 2.2 \text{ В}$, $I_2 = 600 \text{ мкА}$ и вычислим $h_{11} = \frac{U_1}{I_1} = 2200 \text{ Ом}$, $h_{21} = \frac{I_2}{I_1} = 0.6$.



По второй схеме с холостым входом на входе и источником напряжения U_2 на выходе измерим U_1, I_2 и вычислим $h_{12} = \frac{U_1}{U_2} = 0.6$, $h_{22} = \frac{I_2}{U_2} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ См}$. Показатели тождественны теории.

2.3.3 Вывод

Теоретическая модель верна

2.4 Звезда и треугольник

2.4.1 Теория

1. Для схемы на рисунке приведены формулы для X-параметров.

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + R_3 & R_3 \\ R_3 & R_2 + R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}.$$

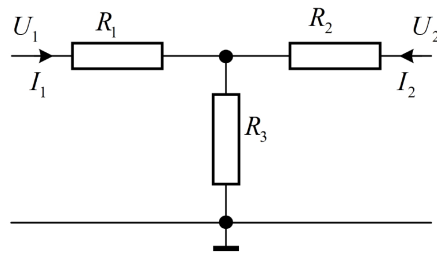
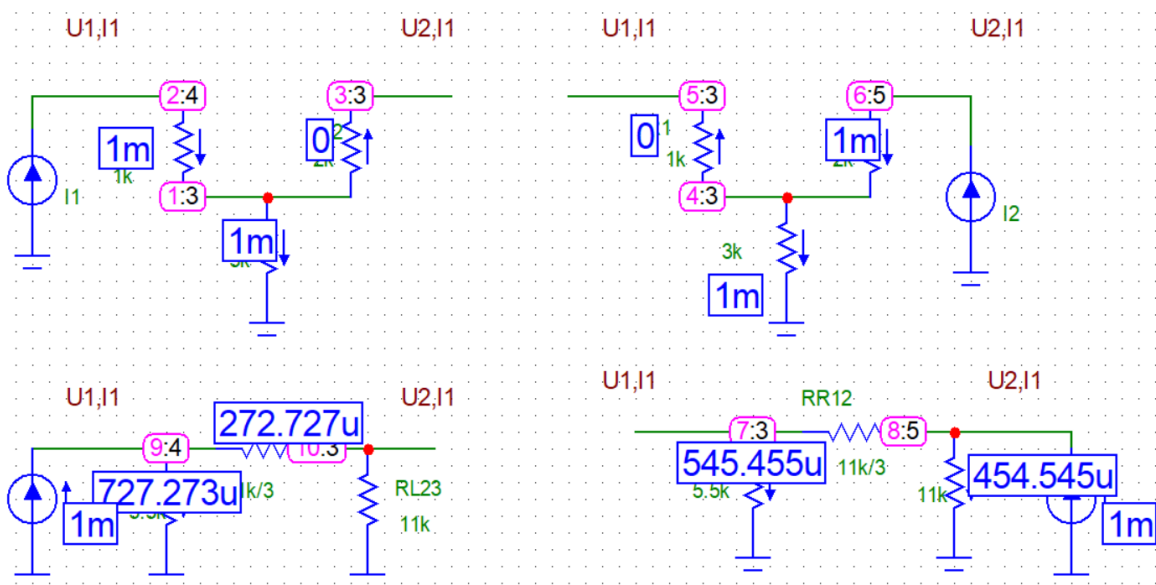


Рис. 18. Т-образная схема

Для выбранных значений резисторов, напряжений и токов значения параметров

$$\begin{pmatrix} X_{11} = 4 \text{ кОм} & X_{12} = 3 \text{ кОм} \\ X_{21} = 3 \text{ кОм} & X_{22} = 5 \text{ кОм} \end{pmatrix}$$

2.4.2 Выполнение



2.

Открыть файл храг.сиг. Пересчитать параметры представленной там звезды в параметры треугольника:

$$R_{13} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2} = 5.5 \text{ кОм}, \quad R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} = \frac{11}{3} \text{ кОм}, \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} = 11 \text{ кОм}.$$

В программе Микро-Сар установим вычисленные значения резисторов в схемы с треугольниками.

По левой схеме $I_2 = 0$ измерим напряжения $U_1 = 4 \text{ В}$, $U_2 = 3 \text{ В}$ и вычислим $X_{11} = \frac{U_1}{I_1} = 4 \text{ кОм}$, $X_{21} = \frac{U_2}{I_1} = 3 \text{ кОм}$. По правой с $I_1 = 0$ измерим $U_1 = 3 \text{ В}$, $U_2 = 5 \text{ В}$ и вычислим $X_{12} = \frac{U_1}{I_2} = 3 \text{ кОм}$, $X_{22} = \frac{U_2}{I_2} = 5 \text{ кОм}$.

2.4.3 Вывод

Теоретические значения совпали с моделированием, значит, теория верна.

2.5 Лестничные структуры

2.5.1 Теория

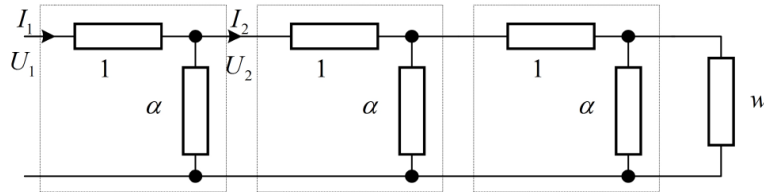


Рис. 19. Лестничная структура

Передаточная матрица блока лестничной структуры с резисторами $R_1 = 1$ и $R_2 = \alpha$ легко вычисляется

$$\begin{pmatrix} U_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -\frac{1}{\alpha} & \frac{1+\alpha}{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ I_1 \end{pmatrix}.$$

Подстановка значений A -параметров в

$$A_{11} + \frac{A_{12}}{w} = A_{21}w + A_{22} = \gamma$$

дает уравнение $w^2 - w - \alpha = 0$ для характеристического сопротивления и значение $\gamma = \frac{w-1}{w}$ для коэффициента передачи напряжения/тока при характеристической нагрузке.

Положительное значение характеристического сопротивления составляет

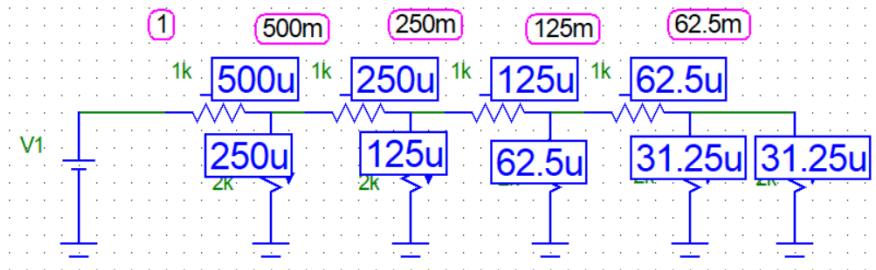
$$w = \frac{1 + \sqrt{1 + 4\alpha}}{2}.$$

Имеется ряд значений α , при которых характеристическое сопротивление вычисляется без радикала

$$\left(\alpha = 2, w = 2, \gamma = \frac{1}{2} \right), \quad \left(\alpha = 6, w = 3, \gamma = \frac{2}{3} \right), \quad \left(\alpha = 12, w = 4, \gamma = \frac{3}{4} \right).$$

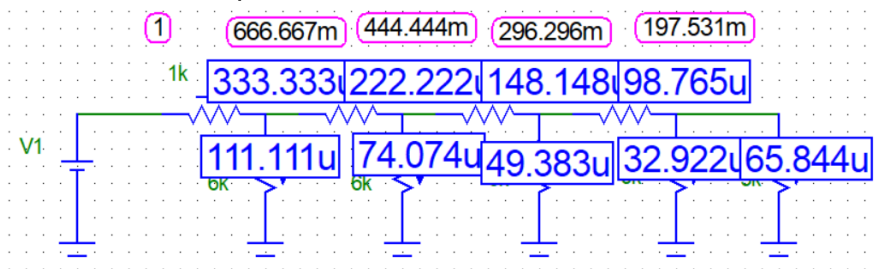
2.5.2 Выполнение

1. Рассмотрим в Micro-cap четырехзвенную лестничную схему с $\alpha = 2, \gamma = \frac{1}{2}$, нагруженную на характеристическое сопротивление $w = 2$ кОм. На схеме приведены результаты моделирования напряжений и токов.

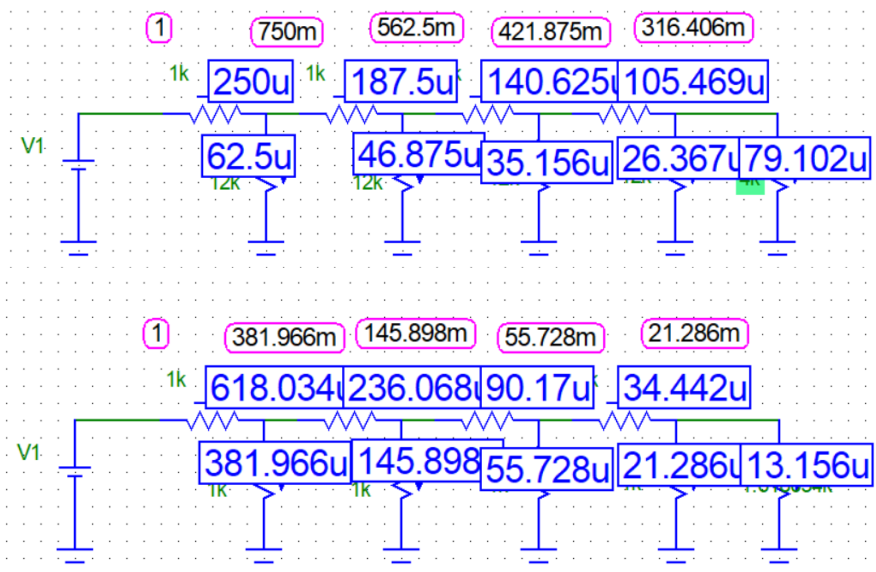


Согласно матрице, $\frac{U_1}{U_2} = 2 = \frac{I_1}{I_2}$, что видно на моделировании. В дальнейшем, все результаты также будут сходиться с теоретическим расчетом, который, из очевидности, будет опущен.

2. Повторим это исследование при $\alpha = 6, \gamma = \frac{2}{3}$, установив на схеме номиналы четырех вертикальных резисторов $R_{2j} = 6$ кОм и нагрузки $w = 3$ кОм.



3. Прделаем это для $\alpha = 12, \gamma = \frac{3}{4}$ ($R_{2j} = 12$ кОм, $w = 4$ кОм) и для $\alpha = 1, \gamma = \frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1} = 0.38$ ($R_{2j} = 1, w = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618$ кОм).



4. Из предыдущих схем следует вполне обоснованная реализация делителя напряжения, который в зависимости от подаваемого на ножки вертикальных резисторов напряжения U , будет выдавать на ногу входа напряжение V , причем оно будет логично зависеть от суперпозиции токов, протекающих через резисторы.

Рассмотрим схему 4-разрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), который преобразует двоичный позиционный код (X_3, X_2, X_1, X_0) в пропорциональное напряжение

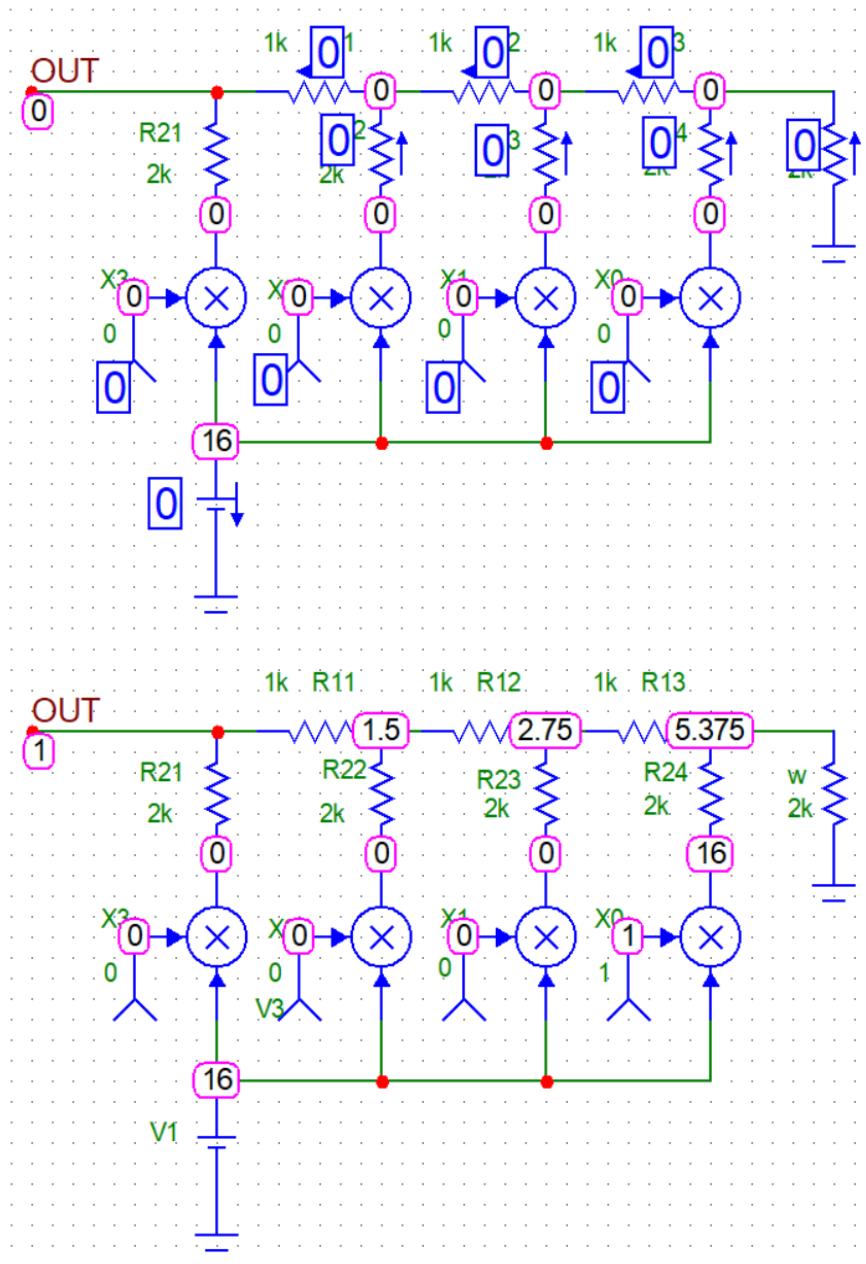
$$OUT = X_3 2^3 + X_2 2^2 + X_1 2^1 + X_0.$$

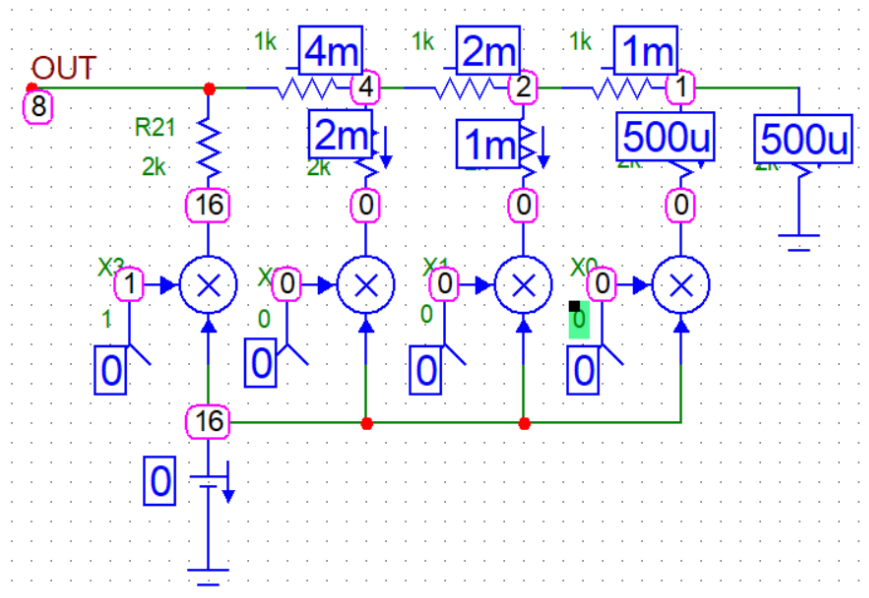
Снимем зависимость напряжения OUT от двоичного кода (X_3, X_2, X_1, X_0), изменяя его в диапазоне от $(0,0,0,0) = 0$ до $(1,1,1,1) = 15$.

Очевидно, что напряжение на выходе будет равно десятичной записи двоичного кода на ключах, т.е. прямая пропорциональность $y=x$.

Теоретические выкладки полностью подтвердились на моделировании.

Примеры преобразования приведены ниже





3 Вывод

Результаты моделирования, как и ожидается, тождественны теории, в то время как замеры на макетной плате незначительно от нее отличаются. Все это позволяет сказать, что использованные методы расчета и анализа безинерционных линейных цепей дают хорошие результаты в области применимости.