

Н.И. Твердоступ

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИНДУКТИВНОГО ИМПЕДАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

*Аннотация.* Проанализированы особенности построения преобразователя индуктивного импеданса на основе интегрального таймера. Найдены условия линейного преобразования индуктивного импеданса в последовательность прямоугольных импульсов.

*Ключевые слова:* интегральный таймер, импульс, индуктивность, сопротивление, импеданс, развертывающий преобразователь.

**Введение.** Актуальной является задача повышения надежности устройств измерения и контроля, которая в большой степени зависит от количества составляющих элементов и простоты схемной реализации. Перспективным для построения простых и надежных преобразователей является интегральный одноканальный аналоговый таймер NE555 (и его аналоги), применяемый для преобразования емкости и сопротивления электрической цепи в управляемую последовательность прямоугольных импульсов [1]. Однако об использовании интегрального таймера в качестве преобразователя индуктивности достаточные сведения практически отсутствуют. Это требует проведения анализа особенностей построения на интегральном таймере преобразователей индуктивного импеданса.

**Постановка задачи.** Целью работы является определение условий для построения на основе интегрального таймера преобразователя индуктивности в последовательность прямоугольных импульсов.

**Основная часть.** В аналоговых таймерах сигнал возбуждения поступает на вход внутреннего двухпорогового компаратора, что позволяет создавать преобразователи развертывающего типа с линейной или экспоненциальной функцией развертывания.

Одна из возможных простых реализаций преобразователя индуктивности в период следования прямоугольных импульсов показана на рис. 1. Здесь  $L$  – преобразуемая индуктивность с собственным

активным сопротивлением  $r$ . Индуктивность  $L$  и времязадающее сопротивление  $R$  образуют интегрирующую цепь, вход которой подключен к выходу таймера, а выход – ко входу внутреннего двухпорогового компаратора с напряжениями переключения  $U/3$  и  $2U/3$ , где  $U$  – выходное напряжение таймера.

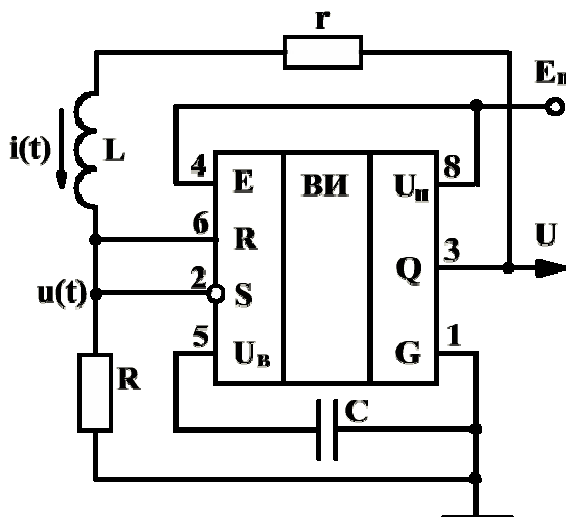


Рисунок 1 – Преобразователь индуктивности  $L$  в последовательность прямоугольных импульсов

При включении таймера на его выходе устанавливается высокий уровень напряжения  $U$ , равный напряжению питания  $E_n$ , которое распределяется на элементах интегрирующей цепи согласно уравнению

$$L \frac{di}{dt} + (R + r)i = U, \quad (1)$$

где  $i(t)$  – ток, протекающий с выхода таймера через элементы интегрирующей цепи. Решение дифференциального уравнения (1) при нулевых начальных условиях определяет мгновенное значение тока  $i(t)$  в виде

$$i(t) = I \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t(R+r)}{L}\right) \right], \quad (2)$$

где  $I = U/(R + r)$ . Ток  $i(t)$  создает на сопротивлении  $R$  падение напряжения, являющееся развертывающим напряжением преобразователя

$$u(t) = \frac{UR}{R+r} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (3)$$

где  $\tau = L/(R + r)$  – постоянная времени интегрирующей цепи. Согласно (3) напряжение  $u(t)$  возрастает по экспоненциальному закону и в

момент времени  $t_1$  достигает уровня нижнего порога срабатывания  $U/3$ , для которого

$$u(t_1) = \frac{U}{3} = \frac{UR}{R+r} [1 - \exp(-\frac{t_1}{\tau})], \quad (4)$$

С течением времени развертывающее напряжение продолжает возрастать и в следующий момент времени  $t_2$  достигает уровня верхнего порога срабатывания  $2U/3$ , при этом

$$u(t_2) = \frac{2U}{3} = \frac{UR}{R+r} [1 - \exp(-\frac{t_2}{\tau})], \quad (5)$$

после чего выходное напряжение  $U$  таймера скачкообразно становится равным нулю. Это приводит к изменению направления тока  $i(t)$  а также изменению направления развертывания до следующего переключения при  $u(t) = U/3$ . Моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , при которых таймер переключается, можно найти путем решения уравнений (4) и (5), при этом

$$t_1 = \tau \ln \frac{3R}{2R-r}, \quad t_2 = \tau \ln \frac{3R}{R-2r}.$$

Длительность сформированного выходного импульса равна  $t_2 - t_1$ , а период их следования  $T = 2(t_2 - t_1)$ , следовательно

$$T = \frac{2L}{R+r} \ln \frac{2R-r}{R-2r}. \quad (6)$$

Полученная характеристика преобразования (6) имеет вид  $T = kL$ , где  $k = \frac{2}{R+r} \ln \frac{2R-r}{R-2r}$  – коэффициент преобразования индуктивности  $L$  в период следования  $T$  прямоугольных импульсов.

Из (6) следует, что преобразование индуктивности  $L$  происходит по линейному закону; коэффициент преобразования  $k$  определяется абсолютными значениями сопротивления интегрирующей цепи  $R$  и собственного активного сопротивления  $r$  индуктивности, а также их отношением  $R/r$ , при этом коэффициент преобразования  $k$  будет положительным числом только при выполнении условия

$$R > 2r. \quad (7)$$

Очевидно, что при  $R < 2r$  значения  $k$  не существуют; при  $R = 2r$  коэффициент преобразования  $k = \infty$ , что означает бесконечный период  $T$ , иначе, срыв колебаний. При  $R \gg 2r$  выражение коэффициента преобразования упрощается и преобразуется к виду  $k \approx 2 \ln 2/R$ . Управлять величиной коэффициента преобразования  $k$  можно вели-

чиной сопротивления  $R$ , причем, для получения высоких значений  $k$  отношение сопротивлений  $R/r$  должно быть как можно ближе к значению 2, с учетом условия (7), при этом абсолютные значения  $R$  и  $r$  должны быть минимальными.

Экспериментальная проверка выражений (6) и (7) проведена в схеме преобразователя (рис.1), собранного на интегральном таймере NE555. На рис.2 показаны экспериментальные зависимости длительности  $T$  периода следования прямоугольных импульсов с выхода таймера от величины преобразуемой индуктивности  $L$  при различных коэффициентах преобразования  $k$ .

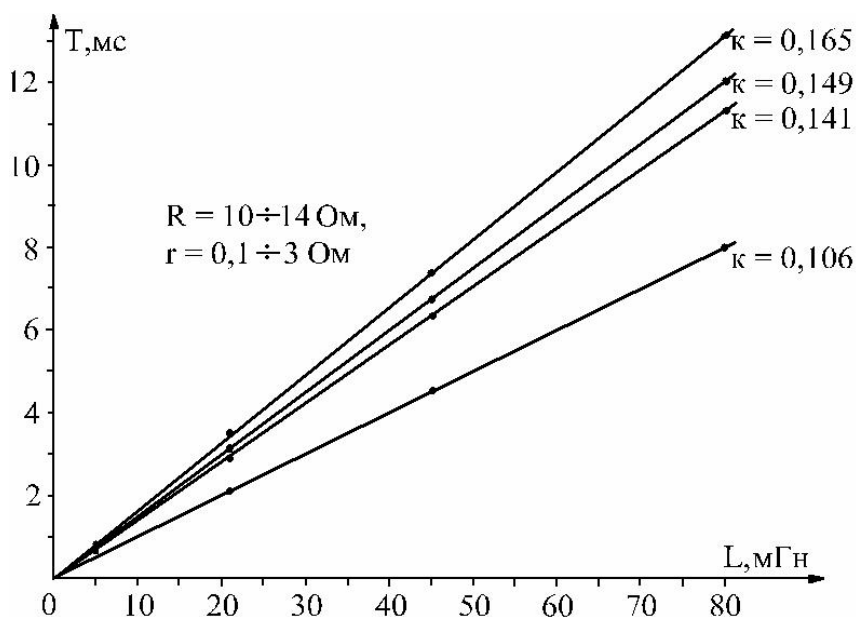


Рисунок 2 – Характеристики преобразования индуктивности  $L$  при различных коэффициентах преобразования  $k$

Зависимости подтверждают линейный характер преобразования индуктивности в достаточно широком диапазоне и справедливость выражения (6). При этом отклонение экспериментальных данных от расчетных по выражению (6) не превышает 10%.

На рис.3 показаны экспериментальные зависимости коэффициента преобразования от логарифма отношения сопротивлений  $R/r$ . Видно, что чем ближе  $\lg(R/r)$  к 0,301 (иначе,  $R/r$  к 2), тем больше коэффициент преобразования.

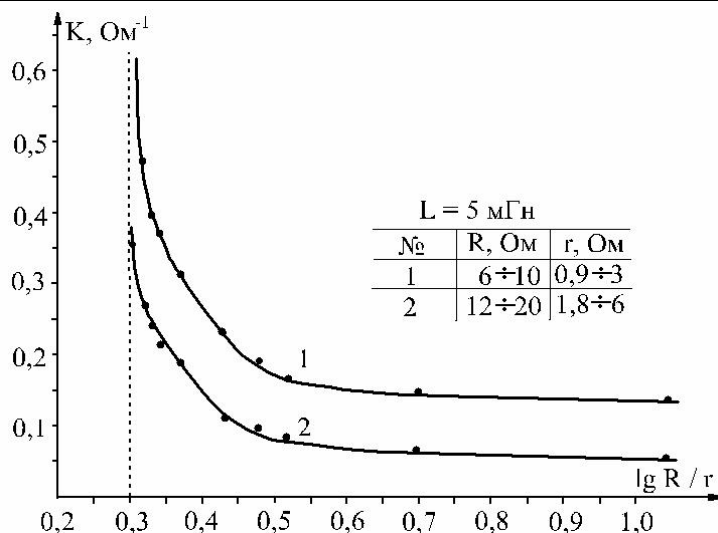


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента преобразования  $k$  от отношения сопротивлений  $R/r$  при их различных абсолютных значениях

Также при меньших абсолютных значениях сопротивлений  $R$  и  $r$  коэффициент преобразования всегда выше (зависимость 1), чем при ббльших (зависимость 2). Последнее указывает на то, что в преобразователях на таймере в отдельных случаях необходимо использовать индуктивности с возможно меньшим активным сопротивлением, например, выполненные проводом достаточно большого сечения или с малым удельным сопротивлением. При значениях  $\lg(R/r) \leq 0,301$  (иначе,  $R/r \leq 2$ ) колебания в схеме отсутствовали, что подтверждает справедливость условия (7).

Для преобразования заземленной индуктивности  $L$  (рис.4) схеме следует дополнить инвертирующим усилителем с единичным коэффициентом передачи ( $R_1 = R_2$ ) и цепью смещения  $R_4 \ll 0,5R_3$ . В этом случае на выходе усилителя будет формироваться развертывающее напряжение подобное выражению (3).

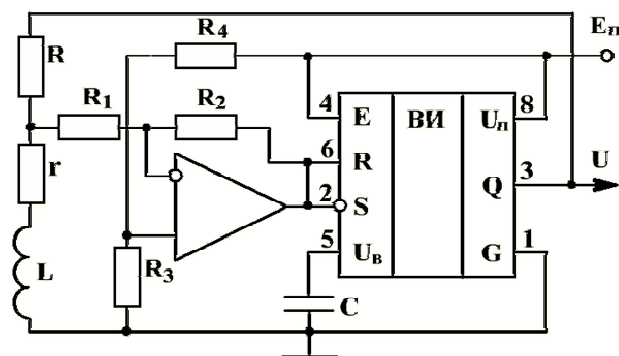


Рисунок 4 – Преобразователь с заземленной индуктивностью  $L$

**Выводы.** В результате анализа установлено следующее:

а) преобразователь на основе одноконтурного аналогового таймера преобразует индуктивность в период следования прямоугольных импульсов по линейному закону в достаточно широком диапазоне с коэффициентом преобразования обратнопропорциональным сумме активных сопротивлений интегрирующей цепи;

б) для обеспечения колебаний времязадающее сопротивление интегрирующей цепи всегда должно быть больше удвоенного активного сопротивления преобразуемой индуктивности;

в) преобразователь индуктивности на таймере характеризуется хорошими функциональными возможностями при предельно простой схемной реализации, что предполагает его достаточно высокую надежность при построении преобразователей пассивных параметров электрических цепей в управляемую последовательность импульсов.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов [Текст]/ Е.А. Коломбет. – М.: Радио и связь, 1991. – 376 с. ISBN 5-256-00375-5.