

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.

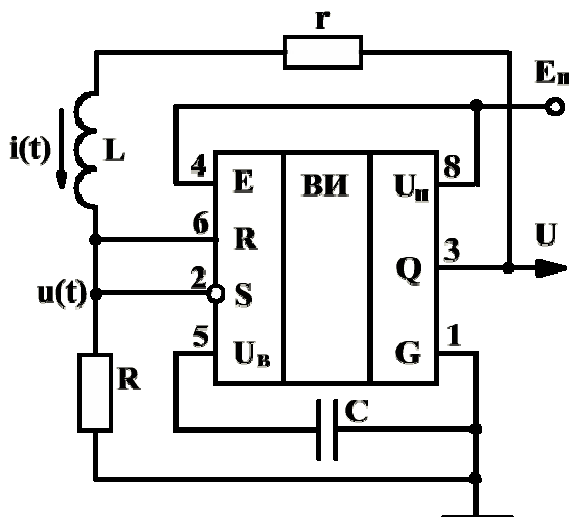


Рисунок 1 – Преобразователь индуктивности L в последовательность прямоугольных импульсов

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 .

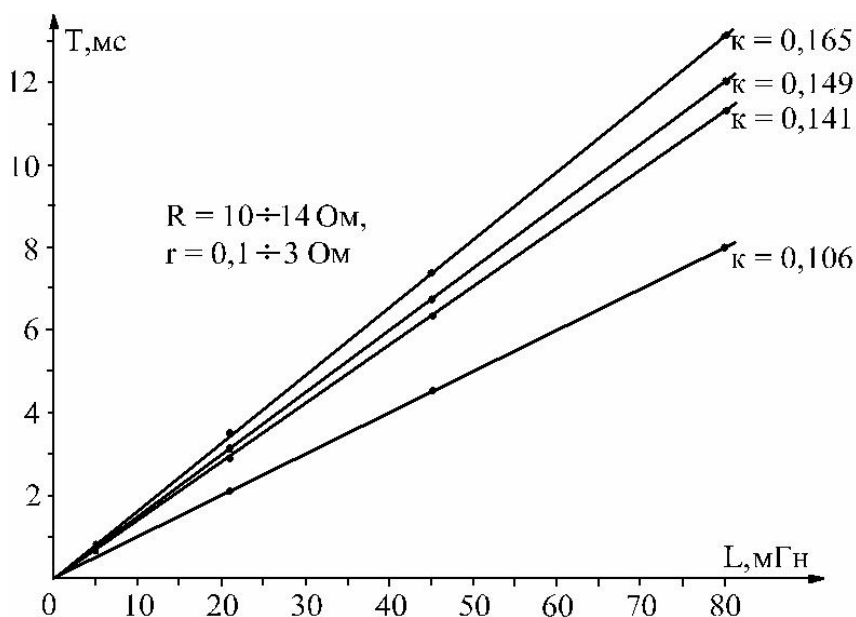


Рисунок 2 – Характеристики преобразования индуктивности L при различных коэффициентах преобразования k

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 превышают 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.

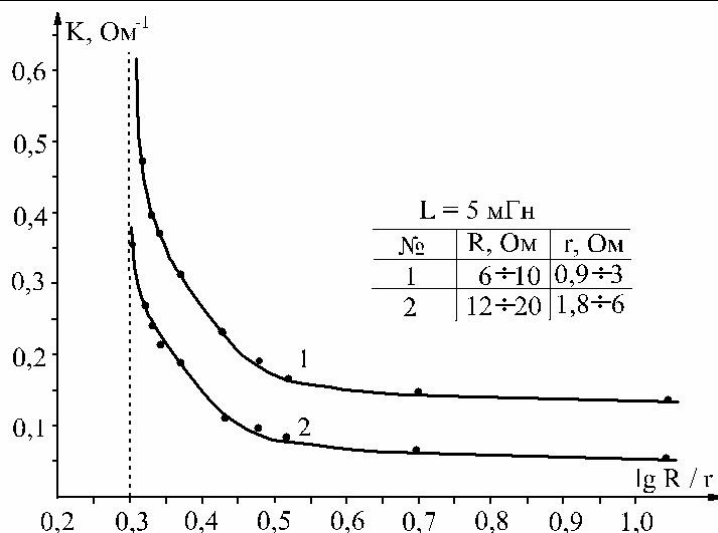


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента преобразования k от отношения сопротивлений R/r при их различных абсолютных значениях

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).

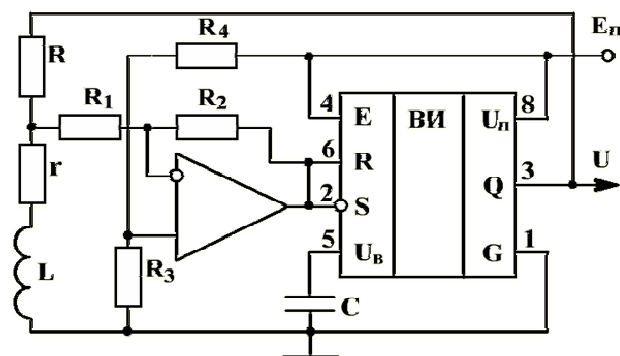


Рисунок 4 – Преобразователь с заземленной индуктивностью L

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.