

УДК 681.518.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХИМПУЛЬСНОЙ РЕАКЦИИ ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫХ КОНТУРОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ ВОЗДУШНЫЙ ЗАЗОР

**В. В. Карасев**, к.т.н., доцент кафедры АСУ РГРТУ, Рязань, Россия;  
orcid.org/0009-0004-4957-8628, e-mail: v.v.karasev@mail.ru

**А. А. Михеев**, д.т.н., профессор кафедры АСУ РГРТУ, Рязань, Россия;  
orcid.org/0000-0002-4757-8606, e-mail: maa0312@yandex.ru

*Рассматривается задача повышения помехозащищенности бесконтактной передачи данных о контролируемых с помощью многоканальной информационно-измерительной системы параметрах вращающихся узлов и механизмов на стационарную аппаратуру обработки на основе индуктивно связанных контуров, один из которых расположен на вращающейся аппаратуре, другой – на стационарной. Целью работы является исследование комбинированного из трех прямоугольных импульсов разной полярности воздействия на индуктивно связанные контуры и их реакции на такое воздействие. Получено математическое описание амплитудных характеристик отдельных полуволн реакции индуктивно связанных контуров на трехимпульсное входное воздействие. Рассмотрен вариант технической реализации предложенного способа возбуждения индуктивно связанных контуров канала передачи данных. Оценена помехозащищенность передачи данных в сравнении с другими способами возбуждения индуктивно связанных контуров.*

**Ключевые слова:** индуктивно связанные контуры, передача данных импульсными сигналами, вращающиеся объекты, воздушный зазор, коэффициент связи между контурами, нормированные параметры реакции индуктивно связанных контуров, нормированная длительность возбуждающего воздействия вращающегося контура, пороговое восстановление принятых импульсных кодовых посылок.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2025-91-267-277

### Введение

Несмотря на колоссальный прогресс в области технологии, передача данных через воздушный зазор продолжает оставаться узким местом информационно-измерительных систем, используемых для контроля состояния рабочих органов вращающихся объектов. Современные устройства бесконтактной передачи данных базируются в основном на двух технологиях: используют радиоканал в той или иной форме [1-3], другие реализуют передачу с помощью импульсных сигналов [4-6]. Во втором случае для передачи данных через воздушный зазор используются, как правило, индуктивно связанные контуры. Один контур расположен на вращающейся части измерительной аппаратуры, другой – на неподвижной части.

Передача данных через индуктивно связанные контуры (ИСК) импульсными сигналами не только существенно упрощает и делает высоконадежным тракт передачи данных, но и удачно сочетается со второй важной функцией рассматриваемых устройств – передачей сигналов электропитания на вращающуюся часть измерительной системы [6], что особенно важно при проведении ресурсных испытаний вращающихся узлов и механизмов.

Представляют интерес две основные характеристики импульсных сигналов на выходе ИСК: их амплитуда, во многом определяющая помехозащищенность, и длительность, лимитирующая пропускную способность канала бесконтактной передачи данных. При выборе того или иного способа возбуждения первичного, вращающегося контура принимают компромиссное решение, так как оба параметра чаще всего важны.

Эффективным с точки зрения сокращения времени реакции является способ одноимпульсного возбуждения ИСК сигналом возбуждения экспоненциальной формы [7].

Способы биимпульсного возбуждения обеспечивают повышение помехозащищенности передачи данных через воздушный зазор. Названный эффект может быть достигнут с помощью комбинирования разных по форме импульсов, например прямоугольного и экспоненциального импульсов сигнала возбуждения [8], либо с помощью комбинации из двух коротких прямоугольных импульсов разной полярности [9]. В обоих случаях реакция индуктивно связанных контуров представляет собой сигнал, близкий к биполярному. Наличие двух разнополярных полуволн со схожими параметрами, каждую из которых можно задействовать в процессе восстановления принятого символа, например при восстановлении пороговым методом, позволяет повысить помехозащищенность передачи данных.

Уменьшения длительности реакции ИСК удалось достичь с помощью трехимпульсного сигнала возбуждения [10]. В нем были последовательно скомбинированы отрицательный прямоугольный импульс, положительный прямоугольный импульс и отрицательный прямоугольный импульс с соотношением их длительности 1:3:1.

В результате исследования различных комбинаций прямоугольных импульсов, позволяющих улучшить одну из качественных характеристик канала бесконтактной передачи данных на основе ИСК, был выделен вариант сочетания длительностей разнополярных прямоугольных импульсов 1:2:1. Этот вариант обеспечивает улучшение быстродействия по сравнению с комбинацией длительностей импульсов возбуждения 1:3:1 [10] и повышение помехозащищенности по сравнению с возбуждением биполярным сигналом [9].

В связи с этим была поставлена задача детального исследования реакции ИСК на возбуждение их комбинацией из трех импульсов с соотношением длительностей 1:2:1 и определения возможности её практического применения.

### Исследование реакции ИСК на трехимпульсное возбуждение

В соответствии с поставленной задачей повышения помехозащищенности данных, передаваемых через воздушный зазор с вращающейся аппаратуры на стационарную, рассмотрим влияние при таком возбуждении коэффициента связи ИСК и суммарной длительности сигнала возбуждения на амплитуду реакции вторичного контура. Оценим выигрыш в помехозащищенности по сравнению с возбуждением биполярным сигналом [9] и представим возможный вариант реализации рассматриваемого способа возбуждения ИСК.

На рисунке 1 представлена схема индуктивно связанных контуров с одинаковыми параметрами  $C$ ,  $L$ ,  $R$  и взаимной индуктивностью  $M$ . В граничном режиме работы реакция  $U_2$  ИСК на скачок тока  $I_1$  описывается следующим выражением [6]:

$$U_2(k, t) = 0,5I_0\rho \left[ \omega t - \frac{1}{\gamma} \sin(\gamma\omega t) \right] \exp\left( \frac{-2\omega t}{\sqrt{1+k}} \right), \quad (1)$$

где  $\rho = \sqrt{L/C}$ ;  $d = \rho/R$ ;  $k = M/L$ ;  $\omega = 1/\sqrt{LC}$ ;  $\gamma = \sqrt{2k/(1-k^2)}$ ;  $I_0$  – величина скачка тока  $I_1$ .

Поскольку схема ИСК является линейной, применим метод суперпозиции для определения их реакции на комбинацию 1:2:1 разнополярных прямоугольных импульсов:

$$r_3(k, \tau, t) = \begin{cases} -0,5U(k, t), t \leq \tau/4 \\ -0,5U(k, t) + U_2(k, t - \tau/4), \tau/4 < t \leq 3\tau/4 \\ -0,5U(k, t) + U_2(k, t - \tau/4) - U_2(k, t - 3\tau/4), 3\tau/4 < t \leq \tau \\ -0,5U(k, t) + U_2(k, t - \tau/n) - U_2(k, t - 3\tau/4) + 0,5U_2(k, t - \tau), t > \tau \end{cases}. \quad (2)$$

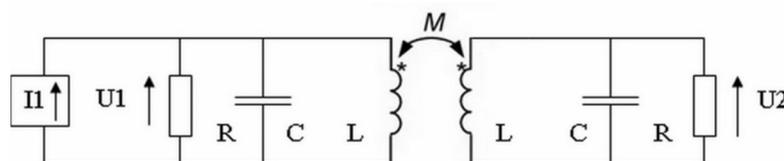
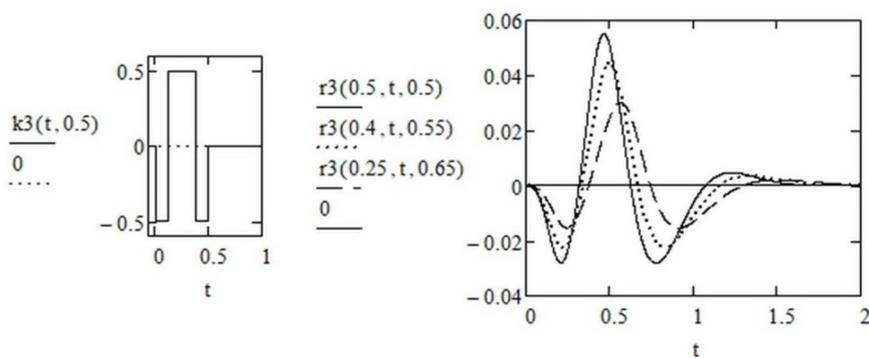


Рисунок 1 – Схема индуктивно связанных контуров  
Figure 1 – Inductively coupled circuits scheme

Дальнейшие исследования реакции ИСК проводились на основании выражений (1) и (2) и моделирования в пакете MathCAD.

На рисунке 2 слева показан вид комбинированного из трех разнополярных прямоугольных импульсов сигнала  $k3$  возбуждения первичного контура ИСК, имеющего нормированную длительность  $\tau$ , равную 0,5 (второй параметр сигнала), а на правой части этого рисунка представлены реакции  $r3$  на их вторичном контуре для нескольких вариантов сочетания коэффициента  $k$  связи между контурами (первый параметр реакции  $r3$ ) и нормированной длительности  $\tau$  входного воздействия (третий параметр реакции  $r3$ ).

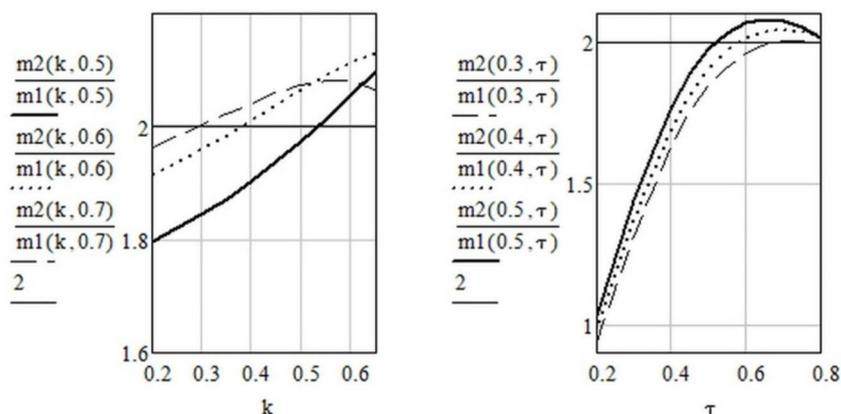
Здесь и в последующем изложении используемые сигналы нормированы по амплитуде к величине  $I_{0p} = 1$  В и по длительности – к значению  $\omega = 2\pi \text{ с}^{-1}$ . Фактические значения параметров сигнала можно получить, умножив относительные амплитудные значения на фактическую величину произведения используемого скачка тока и волнового сопротивления связанных контуров, то есть  $I_{0p}$ , а временные значения – на  $2\pi\sqrt{LC}$ .



**Рисунок 2 – Вид сигнала  $k3$  возбуждения ИСК и реакции  $r3$  на него**  
**Figure 2 – Type of signal  $k3$  of excitation of the ICC and reaction  $r3$  to it**

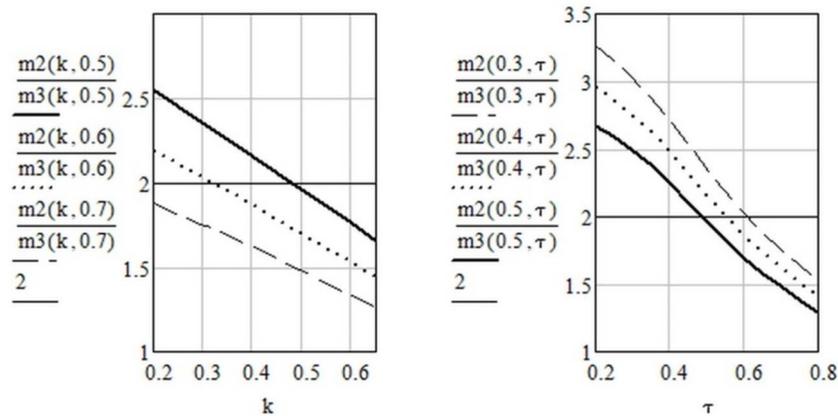
Из графика реакции  $r3$  видно, что она имеет большую по амплитуде  $m2$  вторую положительную полуволну и первую и третью отрицательные полуволны, модули амплитуд  $m1$  и  $m3$  которых вдвое меньше  $m2$ .

На рисунке 3 представлены зависимости отношения модулей амплитуд  $m2/m1$  от коэффициента  $k$  связи и длительности  $\tau$  входного возбуждающего сигнала.



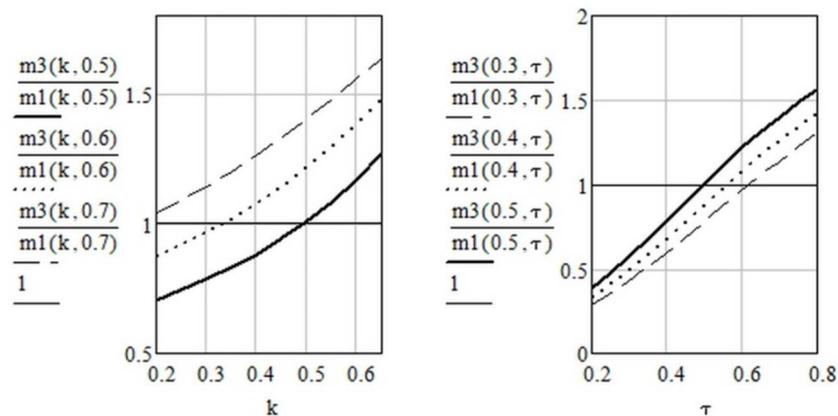
**Рисунок 3 – Зависимость отношения модулей амплитуд  $m2/m1$  от  $k$  и  $\tau$**   
**Figure 3 – Dependence of the ratio of amplitude modules  $m2/m1$  on  $k$  and  $\tau$**

На рисунке 4 показаны зависимости отношения амплитуды  $m2$  второй полуволны к модулю  $m3$  третьей полуволны реакции от коэффициента  $k$  связи и длительности  $\tau$  входного сигнала возбуждения.



**Рисунок 4 – Зависимость отношения модулей амплитуд  $m2/m3$  от  $k$  и  $\tau$**   
**Figure 4 – Dependence of the ratio of amplitude modules  $m2/m3$  on  $k$  and  $\tau$**

И, наконец, на рисунке 5 отображены зависимости отношения модулей третьей  $m3$  и первой  $m1$  полувольт от этих же параметров.



**Рисунок 5 – Зависимость отношения модулей амплитуд  $m3/m1$  от  $k$  и  $\tau$**   
**Figure 5 – Dependence of ratio of amplitude modules  $m3/m1$  on  $k$  and  $\tau$**

В результате проведенных исследований было установлено, что возбуждение индуктивно связанных контуров сигналом, комбинированным из последовательности отрицательного, положительного и снова отрицательного прямоугольных импульсов, относящихся по длительности как 1:2:1, способно вызывать оригинальную трехимпульсную реакцию, имеющую три полувольты, средняя из которых имеет положительную полярность и в 2 раза превосходит по амплитуде модули первой и третьей отрицательных полувольт. Такая реакция ИСК на возбуждение позволяет принимать решение о значении переданного разряда кода с учетом трех полувольт, что обеспечивает повышение помехозащищенности передачи данных по сравнению с биполярным возбуждением [9], о чем будет сказано и подтверждено далее.

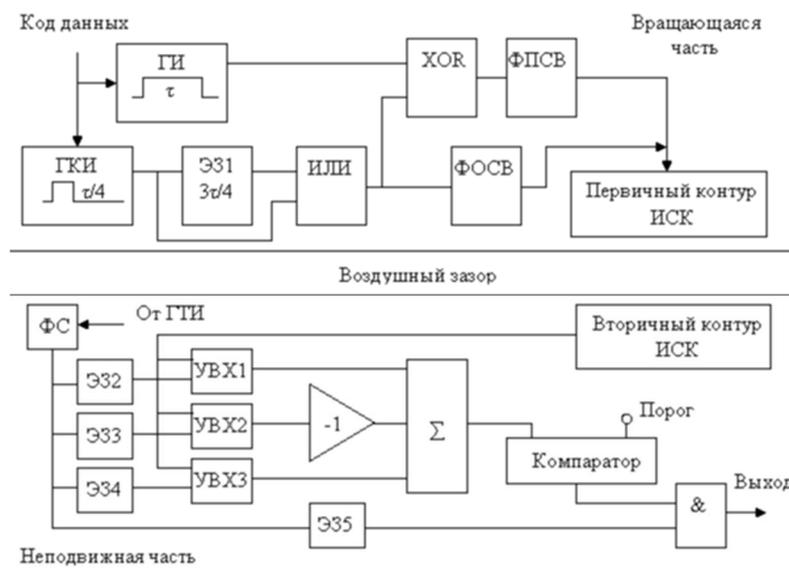
#### **Пример устройства передачи и приема данных, реализующего описанный способ возбуждения индуктивно связанных контуров**

Способ возбуждения ИСК трехимпульсным возбуждающим сигналом с соотношением длительностей 1:2:1, описанный в предыдущем разделе, может быть реализован в виде устройства, функциональная схема одного из вариантов которого представлена на рисунке 6.

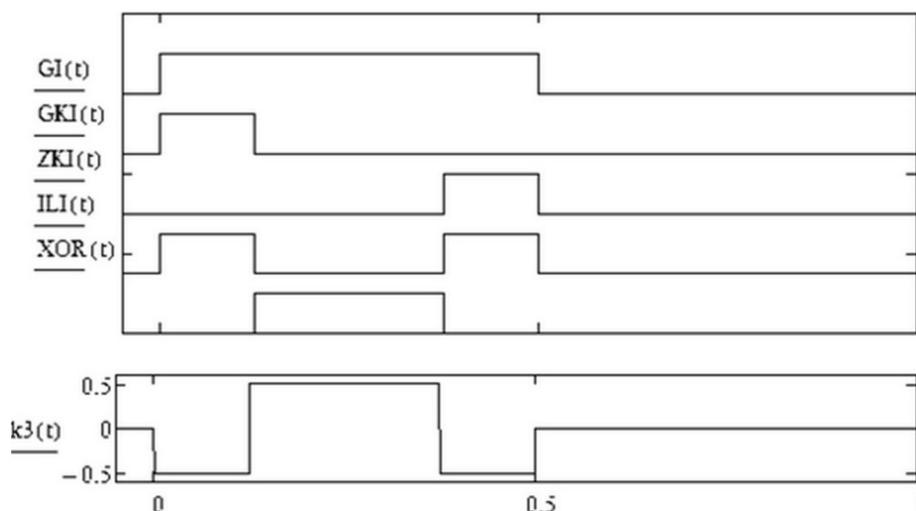
Эпюры сигналов, поясняющие работу этого устройства, представлены на рисунках 7 и 8.

Для каждого единичного разряда кода данных  $cod$  (рисунок 8), получаемого на вращающейся части устройства, генератор импульсов ГИ формирует прямоугольный импульс длительностью  $\tau$  (эпюра GI на рисунке 7), которая определяется свойствами передаваемого сиг-

нала и самих связанных контуров. Генератор коротких импульсов ГКИ синхронно с ГИ создает прямоугольные импульсы длительностью  $\tau/4$  (эпюра ГКИ на рисунке 7).



**Рисунок 6 – Функциональная схема устройства передачи и приема данных**  
**Figure 6 – Functional diagram of the data transmission and reception device**

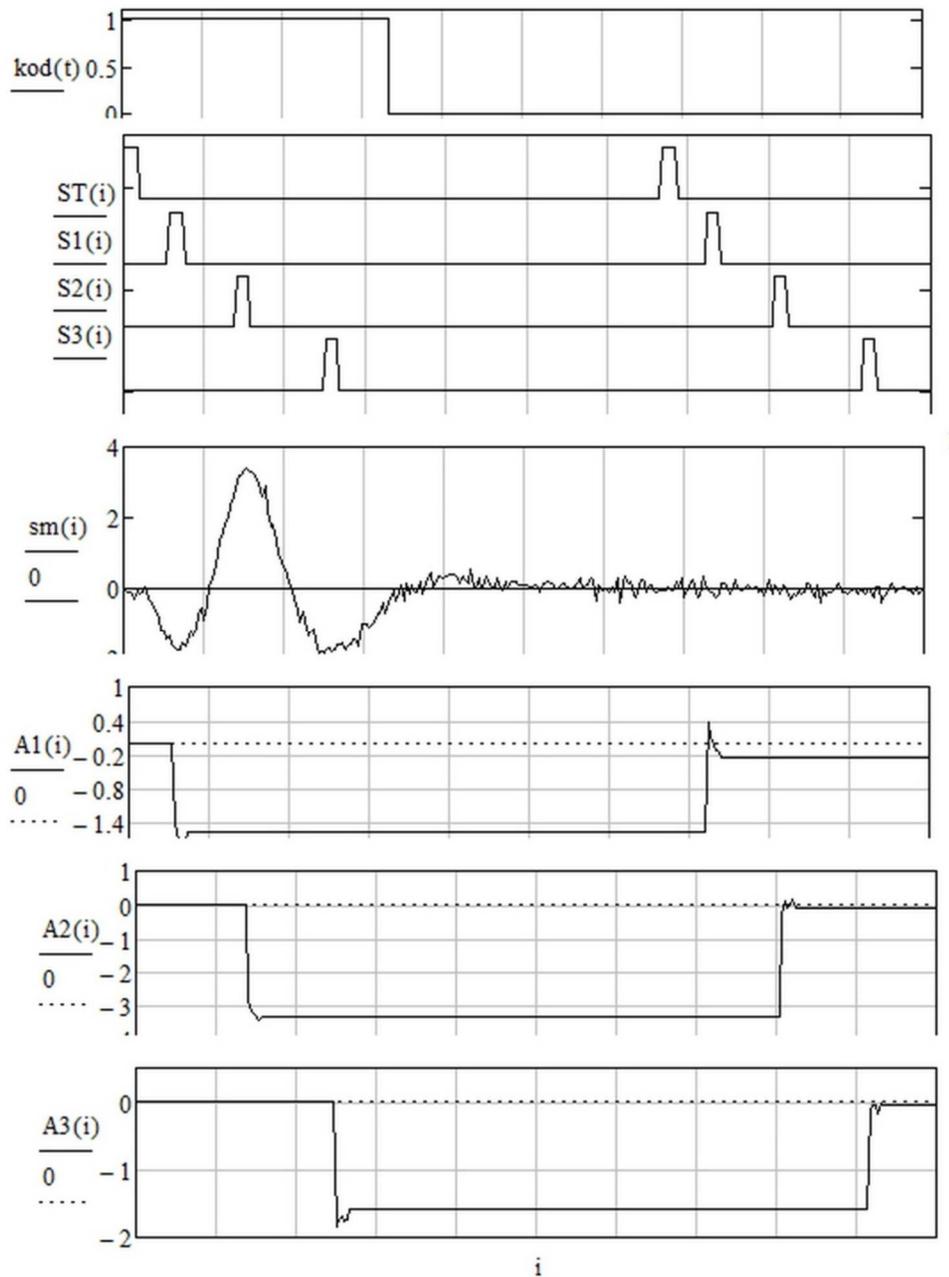


**Рисунок 7 – Формирование сигнала возбуждения связанных контуров**  
**Figure 7 – Formation of the excitation signal of coupled circuits**

С помощью первого элемента задержки ЭЗ1 (на рисунке 7 эпюра ZKI сигнала на его выходе) и элемента ИЛИ формируют пару коротких импульсов, отстоящих друг от друга на время  $\tau/2$  (эпюра ILI на рисунке 7). Эта пара импульсов воздействует на формирователь отрицательного сигнала возбуждения ФОСВ (рисунок 6), с выхода которого сигнал поступает на первичный контур ИСК.

Элемент XOR (исключающее ИЛИ) позволяет исключить из импульса, который формирует ГИ, те его фрагменты, что соответствуют по времени обоим коротким импульсам (эпюра XOR на рисунке 7). В результате через формирователь положительного сигнала возбуждения ФПСВ на первичный контур ИСК будет воздействовать импульс длительностью  $\tau/2$  во время отсутствия коротких импульсов. Таким образом, создается комбинированный сигнал возбуждения, представленный эпюрой  $k_3$  на рисунке 7. На вторичном контуре формируется искаженная шумом реакция из трех полуволн (эпюра  $sm$  на рисунке 8), каждая из которых обрабатывается на неподвижной части устройства с учетом того, что этот процесс синхронизирован с поступлением разрядов кода. Поэтому по сигналу от генератора тактовых импуль-

сов ГТИ с помощью формирователя stroba ФС создают короткий стробирующий сигнал, представленный эюрой ST на рисунке 8, достаточный по длительности для функционирования устройств выборки-хранения УВХ, запоминающих значения амплитуд полуволн реакции.



**Рисунок 8 – Эюры сигналов модели устройства передачи и приема данных**  
**Figure 8 – Signal diagrams of device model for transmitting and receiving data**

С помощью элементов задержки Э32, Э33 и Э34 получают stroбы для соответствующих УВХ (эюры S1, S2, S3 на рисунке 8), которые приходятся по времени на моменты экстремумов полуволн. Амплитудные значения полуволн запоминаются УВХ и с их выходов (эюры A1, A2, A3 на рисунке 8) поступают на сумматор  $\Sigma$ , причем значение с выхода УВХ2, запоминающего амплитуду положительной полуволны, инвертируется. Сигнал с выхода сумматора (эюра SA на рисунке 9) поступает на один из входов компаратора (рисунок 6). На второй вход компаратора подается пороговое напряжение (эюра P на рисунке 9), значение которого устанавливается на уровне 0,5 от величины сигнала SA на выходе сумматора и фактически равно амплитуде второй полуволны с отрицательным знаком (в рассмотренном при-

мере – 3.2 В). Решение о значении разряда кода принимается с помощью компаратора (эпюра К на рисунке 9). Сигнал К с выхода компаратора поступает на один из входов логического элемента И (&). На второй вход элемента И подается представленный на рисунке 9 эпюрой ZS строб, получаемый в результате задержки строба S элементом Э35 на время, приближающее момент принятия решения к моменту окончания разряда кода данных. Выход элемента И является выходом устройства (эпюра I на рисунке 9).

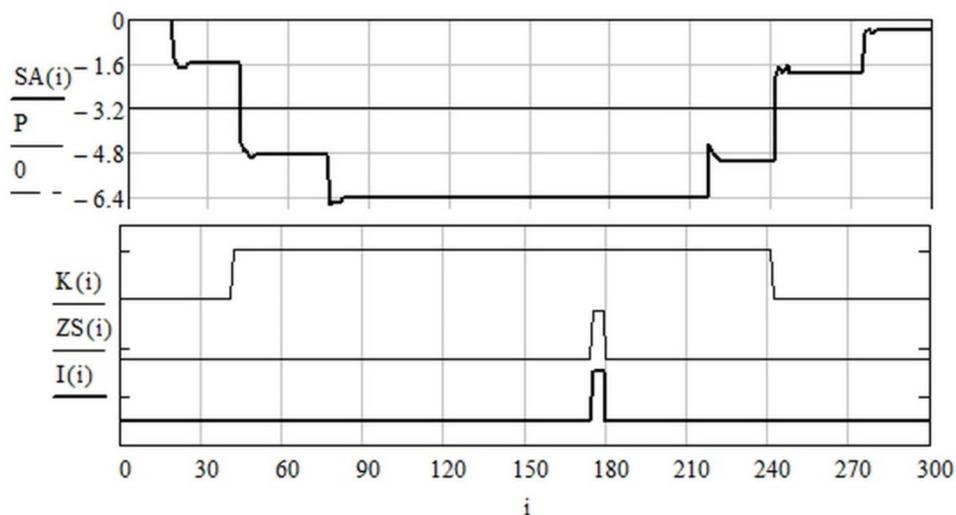


Рисунок 9 – Эпюры сигналов на этапе принятия решения  
Figure 9 – Signal diagrams at decision-making stage

#### Оценка помехозащищенности передачи данных

Оценим целесообразность использования предложенного способа передачи данных через воздушный зазор. Для этого сравним вероятности подавления единичного разряда кода и ложной генерации помехой единицы в нулевом его разряде для способов с биполярным и комбинированным из трех разнополярных прямоугольных импульсов возбуждением.

На рисунке 10 представлены нормированные биполярная реакция  $rb$  и трехимпульсная реакция  $RK$  индуктивно связанных контуров на возбуждение соответственно биполярным [9] и комбинированным из трех разнополярных прямоугольных импульсов сигналами.

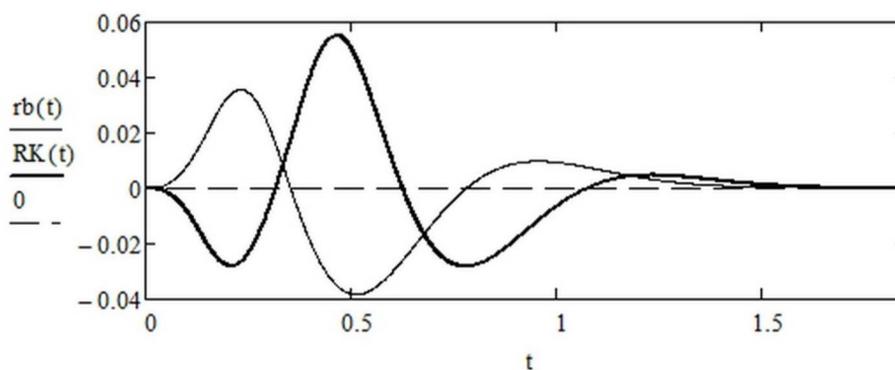


Рисунок 10 – Биполярная  $rb$  и трехимпульсная  $RK$  реакции ИСК  
Figure 10 – Bipolar  $rb$  and three-pulse  $RK$  ICC responses

Зададим длительность  $\tau_p$  реальной реакции ИСК на оба воздействия (биполярное и трехимпульсное) в 4 мкс и амплитуду положительной волны биполярной реакции  $mb = 3$  В. При отсчете  $\tau_p$  на уровне 0,05 от максимума реакции её нормированная длительность составляет величину 1,35.

Исходя из стремления повысить помехозащищенность передачи данных, целесообразно выбрать  $k$  равным 0,5, что соответствует его максимальному значению для большинства практических задач.

Зададимся значениями емкостей ИСК  $C = 500$  пФ, что соответствует длине 10 м кабеля связи неподвижного контура и приемной части устройства.

Остальные параметры индуктивно связанных контуров (рисунок 1) определяются следующим образом. Исходя из условия нормирования длительности, указанного выше, имеем  $\tau_p = 1,35 \cdot 2\pi\sqrt{LC}$ , откуда  $L = 445$  мГн. Тогда из формулы  $\rho = \sqrt{L/C}$  находим  $\rho = 1491$  Ом. Для граничного режима работы, который используется в обоих способах возбуждения, величина затухания  $d = \frac{2}{\sqrt{1+k}}$ . Следовательно, активное сопротивление в составе обоих контуров

$R = \rho/d = 1491/1,633 = 913$  Ом. Для получения реальной амплитуды импульса на выходе ИСК при биполярном возбуждении величиной 3 В для её нормированного значения, равного 0,0356 [11], необходим скачок тока возбуждения, получаемый из условия нормирования  $I_0 = 3/(0,0356 \cdot 913) = 0,092$  А. Полученные в результате исследования нормированные значения амплитуд полуволн биполярной и трехимпульсной реакций и рассчитанные на их основе с учетом найденных  $I_0$  и  $\rho$  их фактические значения сведены в таблицы 1 и 2 соответственно.

**Таблица 1 – Параметры биполярной реакции ИСК**

**Table 1 – Parameters of bipolar reaction of ICC**

Параметр реакции	Для первой полуволны	Для второй полуволны
Амплитуда нормированная	0,03561	0,03828
Амплитуда фактическая, В	3,000	-3,216

Пусть помеха, искажающая обе реакции, имеет нормальный закон распределения. Из опыта работы с подобными ИСК [6] следует, что эффективное напряжение помехи  $U_{ПЭ}$  может достигать 0,6 В. Вероятность  $Pb1_{01}$  формирования на позиции первой полуволны ложного импульса «1» при передаче реального сигнала «0» будет определяться интегралом вероятностей  $V$  [12]:

$$Pb1_{01} = V\left(\frac{U_{nop}}{U_{ПЭ}}\right), \quad (3)$$

где  $U_{пор}$  – пороговое напряжение оценивания.

Для способа биполярного возбуждения ИСК, задаваясь значением  $U_{пор} = mb/2$ , для первой полуволны на основании таблицы 1 и выражения (3) получим:

$$Pb1_{01} = V(3/(2 \cdot 0,6)) = V(2,5) = 6,21 \cdot 10^{-3}.$$

Из таблицы 1 следует, что модуль амплитуды второй полуволны реакции несколько больше амплитуды первой, и вероятность формирования на выходе второго компаратора на позиции второй полуволны ложного импульса будет равна

$$Pb2_{01} = V(1,608/0,6) = 3,681 \cdot 10^{-3}.$$

Ложная единица на нулевой позиции кода данных возникает только при генерации двух единиц на позициях положительной и отрицательной полуволн реакции, что происходит с вероятностью

$$Pb_{01} = Pb1_{01} \cdot Pb2_{01} = 6,21 \cdot 10^{-3} \cdot 3,681 \cdot 10^{-3} = 2,29 \cdot 10^{-5}.$$

Так как рассматриваемый канал является симметричным, то

$$Pb1_{10} = Pb1_{01} \text{ и } Pb2_{10} = Pb2_{01}.$$

Ложный ноль на единичной позиции кода данных возникает при появлении нуля или на положительной полуволне реакции, или на отрицательной. В этом случае вероятность подавления единичного сигнала будет определяться как

$$Pb_{10} = Pb1_{10} + Pb2_{10} = 9,891 \cdot 10^{-3}.$$

Обратимся к трехимпульсной реакции. В этом случае используем данные таблицы 2 и выражение (3).

**Таблица 2 – Параметры трехимпульсной реакции ИСК**  
**Table 2 – Parameters of the three-pulse reaction of the ICC**

Параметр реакции	Для первой полувольты	Для второй полувольты	Для третьей полувольты
Амплитуда нормированная	-0,02792	0,05519	-0,02815
Амплитуда фактическая, В	-2,345	4,636	-2,364

Вероятность ложной генерации единицы кода получим с помощью выражения (3), подставив в него в качестве  $U_{\text{пор}}$  половину модуля суммы амплитуд трех полувольт, в которой амплитуда второй полувольты взята с обратным знаком. Итак,

$$U_{\text{пор}} = -0,5(2,345 + 4,636 + 2,364) \text{ В} = -4,673 \text{ В}.$$

Поскольку пороговое напряжение определяется на основе суммирования значений амплитуд трех полувольт реакции ИСК, на которые наложена помеха (эпюра  $sm$  на рисунке 8), то эффективное напряжение помехи в соответствии с методом накопления [12] увеличится в  $\sqrt{n}$  раз, где  $n = 3$  – число берущихся отсчетов сигнала, и составит 1,039 В. Тогда вероятность ложной генерации единицы определится величиной  $PK_{01} = V(4,673/1,039) = 3,398 \cdot 10^{-6}$ . В силу симметричности канала такая же вероятность будет характеризовать подавление единичного разряда данных  $PK_{10}$ .

Таким образом, рассмотренный вариант передачи и приема данных через воздушный зазор на основе трехимпульсного возбуждения ИСК обеспечивает более высокую помехозащищенность по сравнению с возбуждением ИСК биполярными импульсами. Как следует из приведенного примера, вероятность ложной генерации единицы в разряде кода данных  $PK_{01}$  почти на порядок (в 6,7 раза) меньше  $Pb_{01}$ , а вероятность подавления единицы  $PK_{10}$  меньше  $Pb_{10}$  на три порядка.

### Заключение

Исследованы особенности реакции индуктивно связанных контуров на сигнал возбуждения, комбинированный из трех разнополярных прямоугольных импульсов с соотношением длительностей 1:2:1. Приведены примеры практической реализации формирования трехимпульсного возбуждения ИСК и восстановления переданного символа кода по сигналам реакции ИСК на возбуждение. Оценена помехозащищенность передачи данных для случаев трехимпульсного возбуждения ИСК и биполярного возбуждения. Установлено что трехимпульсное возбуждение ИСК обеспечивает существенное снижение вероятности ложного приема символа кода по сравнению с биполярным возбуждением. Таким образом, предлагаемый способ передачи кодовых посылок через воздушный зазор и последующего их восстановления позволит интегрировать в одном устройстве высокое быстродействие с другим важным качеством канала передачи данных – его высокой помехозащищенностью, что делает перспективным его использование в системах передачи данных через воздушный зазор, в частности в системах контроля состояния вращающихся узлов и механизмов.

### Библиографический список

1. Ярусов А., Тенюшко Т., Швец В. Телеметрическая система для дорожных испытаний автомобильных трансмиссий // Современные технологии автоматизации. 2008. № 3. С. 66-73.
2. Radio Sensortelemetry (Eng). URL: <http://manner-sensortelemetrie.ru/dokumentaciya/> (дата обращения 21.06.2023).
3. Телеметрическая система MIC-1500. URL: <http://nppmera.ru/assets/files/documentation/MIC-1500sm.pdf> (дата обращения 12.11.2023).
4. Технологии Schleifring. URL: <https://www.schleifring.com> (дата обращения 07.11.2023).
5. СТП-NT100-Rotate. URL: <https://www.prom-tex.org/catalog/telemetricheskiesistemy/telemetriya-dlya-nesushchego-vinta-i-shassi/stp-nt100rotate/?ysclid=lou9wjla6s318478216> (дата обращения 11.11.2023).

6. Измерительные системы для вращающихся узлов и механизмов / **В.В. Карасев, А.А. Михеев, Г.И. Нечаев**; Под ред. **Г.И. Нечаева**. М.: Энергоатомиздат, 1996. 176 с.

7. **Зилотова М.А., Карасев В.В., Николаева А.В.** Способ передачи данных через воздушный зазор и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2565527. 2015. № 29.

8. **Зилотова М.А., Карасев В.В., Николаева А.В.** Способ формирования биполярных сигналов для передачи данных через воздушный зазор и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2566949. 2015. № 30.

9. **Карасев В.В., Матюшова Д.И.** Способ передачи и приема данных через воздушный зазор на основе индуктивно связанных контуров, возбуждаемых прямоугольными импульсами разной полярности, и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2719557. 2020. № 12.

10. **Карасев В.В., Сеничкин В.С.** Способ передачи данных через воздушный зазор на основе индуктивно связанных контуров, возбуждаемых комбинацией прямоугольных импульсов, и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2786049. 2022. № 35.

11. **Карасев В.В., Матюшова Д.И.** О возбуждении индуктивно связанных контуров биполярными прямоугольными импульсами // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сб. научных статей 2-й Всероссийской научной конференции (17-18 октября 2019 года) в 4-х томах. Курск: Изд. Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 4. С. 65-68.

12. **Шастова Г.А.** Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации. М. – Л.: Энергия, 1966. 456 с.

UDC 681.518.3

## USING THREE-PULSE RESPONSE OF INDUCTIVELY COUPLED CIRCUITS TO TRANSFER DATA THROUGH AIR GAP

**V. V. Karasev**, Ph.D. (Tech.), associate professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0004-4957-8628, e-mail: v.v.karasev@mail.ru

**A. A. Mikheev**, Dr. Sc. (Tech.), RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-4757-8606, e-mail: maa0312@yandex.ru

*The problem of increasing the noise immunity of data transmission from rotating components and mechanisms is considered. **The aim of the work** is to study the combined effect of three rectangular pulses of different polarity on inductively coupled circuits, causing their specific reaction, which forms the basis of the proposed method of transmitting and receiving data from the rotating part of information-measuring system to its stationary part. For this purpose, amplitude characteristics of individual half-waves of the reaction of inductively coupled circuits to three-pulse input action were obtained, which became the basis for developing a method for transmitting and receiving data through air gap. A circuit diagram of a device has been proposed that makes it possible to increase noise immunity of data transmission. A comparison of the degree of noise immunity of the proposed device with that of the known original device was made.*

**Keywords:** *inductively coupled circuits, data transmission by pulse signals, rotating objects, air gap, coupling coefficient between circuits, normalized response parameters of inductively coupled circuits, normalized duration of exciting action of rotating circuit, threshold recovery of pulse code messages received on stationary circuit.*

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2025-91-267-277

### References

1. **Yarusov A., Tenyushko T., Shvec V.** Telemetricheskaya sistema dlya dorozhnyh ispytaniy avtomobil'nyh transmissij. *Sovremennye tehnologii avtomatizacii*. 2008, no. 3, pp. 66-73. (in Russian)

2. *Radio Sensortelemetry* (Eng). URL: <http://manner-sensortelemetrie.ru/dokumentaciya/> (in Russian).

3. *Telemetricheskaya sistema MIC-1500*. URL: <http://nppmera.ru/assets/files/documentation/MIC-1500sm.pdf> (in Russian).

4. *Tehnologii Schleifring*. URL: <https://www.schleifring.com> (in Deuchland).

5. СТП-NT100-Rotate. URL: <https://www.prom-tex.org/catalog/telemetricheskiesistemy'/telemetriya-dlyaneshushchego-vinta-i-shassi/stp-nt100rotate/?ysclid=lou9wjla6s318478216> (in Russian).

6. Izmeritel'nye sistemy dlya uzlov i mehanizmov. **V.V. Karasev, A.A. Miheev, G.I. Nechaev**; Pod red. **G. I. Nechaeva**. M.: *Jenergoatomizdat*, 1996. 176 p. (in Russian).

7. **Zilotova M.A., Karasev V.V., Nikolaeva A.V.** Sposob peredachi dannyh cherez vozdushnyj zazor i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Patent RF no. 2565527, 2015, no. 29.* (in Russian).

8. **Zilotova M.A., Karasev V.V., Nikolaeva A.V.** Sposob formirovaniya bipolyarnyh signalov dlya peredachi dannyh cherez vozdushnyj zazor i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Patent RF no. 2566949, 2015, no. 30.* (in Russian).

9. **Karasev V.V., Matyushova D.I.** Sposob peredachi i priyoma dannyh cherez vozdushnyj zazor na osnove induktivno svyazannyh konturov, vozbuzhdaemyh pryamougol'nymi impulsami raznoj polyarnosti, i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Patent RF no. 2719557, 2020, no. 12.* (in Russian).

10. **Karasev V.V., Senichkin V.S.** Sposob peredachi i priyoma dannyh cherez vozdushnyj zazor na osnove induktivno svyazannyh konturov, vozbuzhdaemyh kombinaciej pryamougol'nyh impulsov, i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Patent RF no. 2786049, 2022, no. 35.* (in Russian).

11. **Karasev V.V., Matyushova D. I.** O vozbuzhdenii induktivno svyazannyh konturov bipolyarnymi pryamougol'nymi impul'sami. *Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: Molodyozhnyj vzglyad v budushhee.* Kursk: Izd. Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2019, vol. 4, pp. 65-68. (in Russian).

12. **Shastova G.A.** *Kodirovanie i pomechoustojchivost' peredachi telemehanicheskoy informacii.* M.-L.: Jenergiya, 1966. 456 p. (in Russian).