

Снижение минимального фиксируемого объема газа для счетного механизма диафрагменного прибора учета расхода природного газа

А.Н. Акользин, А.А. Легин, О.А. Харьянов

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Аннотация: Развитие современной электроники привело к усовершенствованию и модернизации приборов учета природного газа. Механические приборы все больше стали вытесняться электронными, которые позволяют обеспечить более высокую точность, разрешающую способность прибора и имеют ряд дополнительных возможностей, например, позволяют регистрировать события и осуществлять контроль показаний. Задачей таких приборов является обеспечить полностью автономную работу от батарейного элемента в период от 5 до 10 лет. Время автономной работы определяется количеством потребителей электроэнергии входящих в состав прибора учета и может быть снижено до очень малых значений за счет применения современных электронных компонентов с низким энергопотреблением. Дополнительно можно снизить энергопотребление путем реализации определенных алгоритмов работы устройства. В данной работе рассмотрены варианты построения измерительной мишени, и алгоритмы работы цифровой части, которые позволяют снизить энергопотребление.

Ключевые слова: измерительные схемы, приборы учета природного газа, энергопотребление, измерительная мишень, энергоэффективность.

Введение

Приборы учета расхода газа очень широко распространены и используются как в бытовом хозяйстве, так и в промышленности. В их основную задачу входит измерение потребляемого абонентом объема природного газа и корректировка этих показаний с учетом температуры и давления. В качестве измерителя в основном используется диафрагма, которая совершает поступательные движения в результате давления, создаваемого проходящим через нее газом. Механическое движение диафрагмы через магнитную муфту преобразуется во вращательное движение мишени. Варианты исполнения мишени могут быть различными, это может быть мишень с прорезями для оптической системы, которая позволяет сформировать цифровой код или это может быть магнитная мишень, для магнитной системы с датчиком Холла. Основной задачей

измерительной схемы является пересчет вращательного движения мишени в объем газа. При этом минимальный фиксируемый объем будет зависеть от минимального углового перемещения, которое может зафиксировать измерительная схема, а это в свою очередь зависит как от исполнения мишени, так и от исполнения схемы измерения.

Основными потребителями в приборе учета выступают микроконтроллер, устройство индикации и электронная схема, которая позволяет регистрировать вращение мишени. Современные вычислительные процессоры позволяют добиться низкого энергопотребления от элемента питания в различных режимах порядка 4-30 мкА. Потребление устройства индикации так же может быть несущественным, так как существуют ЖКИ, которые потребляют порядка 10-20 мкА [1], что является подходящим для применения в приборах учета.

Задачей данной работы является разработка различных схем измерения поступательного движения мембраны с целью повышения разрешающей способности устройства в целом. А также разработка различных алгоритмов съема показаний с помощью измерительных схем, которые позволяют снизить среднее значение энергопотребления прибора учета.

Основная часть

Прибор учета природного газа представляет собой устройство, состоящее из схемы измерения, измерителя, устройства отображения и порта связи с внешними устройствами (опционально), как показано на рис. 1.

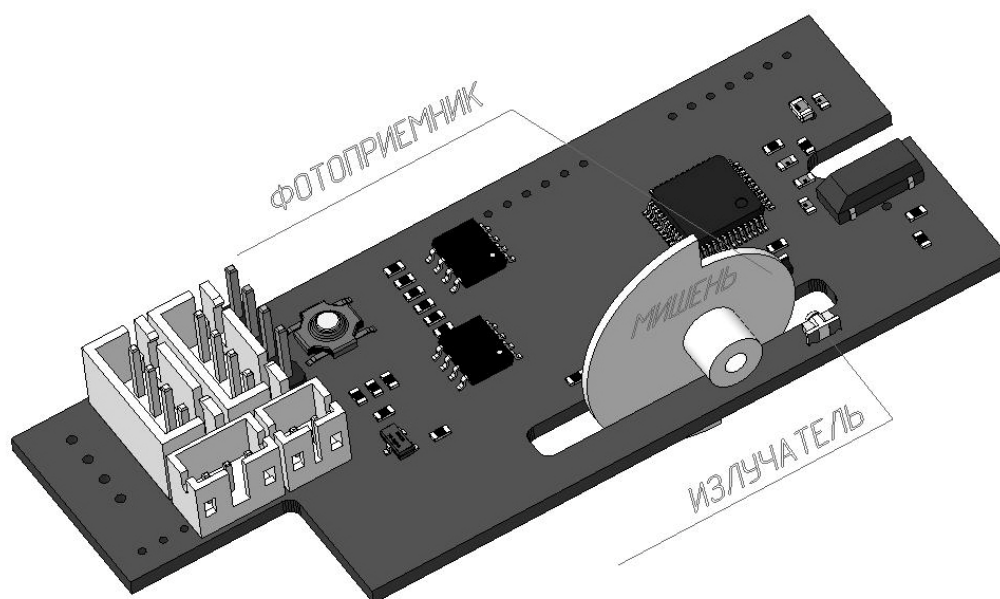


Рис. 1. – Внешний вид прибора учета природного газа

В приборах учета природного газа точность и разрешающая способность приборов определяется конструкцией измерительной схемы, которая содержит в себе электрическую и механическую составляющую. Необходимость повышения разрешающей способности связана с требованиями ГОСТ Р 8.915-2016. «Государственная система обеспечения единства измерений счётчики газа объемные диафрагменные. Общие технические требования, методы испытаний и поверки на электронные приборы учета». Для определения объема газа прошедшего через мембрану необходимо измерять угловое перемещение мишени с заданной точностью. Существует множество подходов к измерению вращения измерительной мишени[2,3]. В ходе разработки прибора учета природного газа были рассмотрены различные способы построения измерительной части схемы и предложены различные алгоритмы управления измерением.

Начнем рассмотрение с самой простой измерительной схемы, которая представляет собой диск, где световой поток от излучателя перекрывается

каждые полпериода, и измерительную схему с оптической парой, в которой используется один светодиод и один фотодиод, рис. 1. Такая схема измерения проста в реализации и положительно влияет на энергопотребление, а как следствие, и на время автономной работы прибора учета. Это обусловлено тем, что основным потребителем является светодиод, который потребляет порядка 10 мА[4]. Поскольку в схеме он всего один и работает в импульсном режиме, при этом частота импульсов должна быть как минимум в два раза больше максимальной частоты вращения мишени при максимальном расходе. Это позволяет обеспечить уровень среднего потребления тока схемы измерения менее 10 мкА[5] и определяется по формуле:

$$i_{cp} = \frac{i_c \cdot t_c + i_p \cdot t_p}{t_c + t_p}, \quad (1)$$

где i_c – потребление в режиме «сна», i_p – в активном режиме, t_p – время потребления в активном режиме, t_c – время потребления в режиме «сна».

На основе приведенной формулы (1) построим таблицу 1 зависимости среднего тока потребления от времени работы в активном режиме. Измерение потребления среднего тока проводилось для оптической пары с одним светодиодом и одним фототранзистором, ток через которую регулировался с помощью резисторов нагрузки.

Таблица № 1

Зависимость среднего тока потребления оптической пары

| t_p , мкс | R_d , кОм | I_d , мкА | $I_{ср.диод}$, мкА | $I_{ср.транзистор}$, мкА |
|-------------|-------------|-------------|---------------------|---------------------------|
| 10 | 0,105 | 20000 | 2 | 2,2 |
| 50 | 0,470 | 4200 | 2,1 | 0,41 |
| 100 | 2,6 | 749 | 0,749 | 0,47 |

Для расчета общего тока потребления прибора учета для одной оптической пары воспользуемся формулой:

$$i_p = (I_{\text{ср.транзистор}} + I_{\text{ср.диод}}) \cdot n + I_{\text{ср.инд}} + I_{\text{ср.конт}}, \quad (2)$$

где $i_{\text{ср.транзистор}}$ – среднее потребление тока фототранзистора, $i_{\text{ср.диод}}$ – среднее потребление тока светодиода, $i_{\text{ср.инд}}$ – среднее потребление тока индикатора [1], $t_{\text{ср.конт}}$ – среднее потребления тока микроконтроллера, i_p – общее потребление тока всего прибора учета и n – количество оптических пар. Для расчета среднего потребления для каждого компонента воспользуемся формулой (1), где период импульсов подаваемых на светодиод будет равен $t_c = 10$ мс, потребление микроконтроллера в режиме сна $i_c = 3.3$ мкА. [6], потребление микроконтроллера в активном режиме $i_p = 1.85$ мА. [6], время работы микроконтроллера в активном режиме t_p указан в таблице 2.

Таблица № 2

Потребление прибора учета для одной оптической пары

| тр, мкс | Рд, кОм | Ид, мкА | Иср.диод, мкА | Иср.транзистор, мкА | Иср.инд, мкА | Иср.конт, мкА | Ир., мкА |
|---------|---------|---------|---------------|---------------------|--------------|---------------|----------|
| 10 | 0,105 | 20000 | 2 | 2,2 | 5 | 5,14 | 14,34 |
| 50 | 0,470 | 4200 | 2,1 | 0,41 | 5 | 12,48 | 19,99 |
| 100 | 2,6 | 749 | 0,749 | 0,47 | 5 | 21,58 | 27,79 |

Экспериментально было установлено, что один полный оборот мишени соответствует объему 0,00119 м³. Согласно ГОСТ на индикаторе прибора учета показания должны отображаться с точностью четыре знака после запятой [2]. В рассматриваемом способе измерения получить значащую часть четвертого разряда сложно в связи с маленьким разрешением измерительной мишени.

Рассмотрим более сложную оптическую измерительную схему с мишенью, которая позволяет получить цифровой код Грея [7] рисунок 2. Особенностью кода Грея является то, что его цифровая комбинация отличается от предыдущих, только одной цифрой в двоичном разряде. Эта

особенность позволяет отследить и скорректировать ошибки в случае их появления. Другим преимуществом является то, что такая схема измерения может фиксировать четверть оборота мишени, в отличие от предыдущей реализации, где фиксируется пол оборота, это позволяет удвоить разрешающую способность оптической мишени и позволяет измерить минимальный объем газа, который равен 0,00029 м³. Такая схема измерения требует установки двух светодиодов, которые работают в импульсном режиме, что увеличивает энергопотребление, а для обеспечения требуемой точности измерений требуется увеличение частоты импульсной работы излучателей в четыре раза от максимальных оборотов мишени. Методы оптимизации потребления оптических схем приведены в[5]. Воспользуемся данными из таблицы 1 и формулой 2, и составим таблицу 3, в которой будет потребление прибора учета в составе, которого две оптические пары.

Таблица № 3

Потребление прибора учета для двух оптических пар

| тр, мкс | Рд, кОм | Ид, мкА | Иср.диод, мкА | Иср.транзистор, мкА | Иср.инд, мкА | Иср.конт, мкА | Ир., мкА |
|---------|---------|---------|---------------|---------------------|--------------|---------------|----------|
| 10 | 0,105 | 20000 | 2 | 2,2 | 5 | 5,14 | 18,54 |
| 50 | 0,470 | 4200 | 2,1 | 0,41 | 5 | 12,48 | 22,5 |
| 100 | 2,6 | 749 | 0,749 | 0,47 | 5 | 21,58 | 29,018 |

Такой вариант съема показаний имеет еще одну положительную особенность, по сравнению с предыдущим вариантом съема, которая связана с возникновением ошибок на очень малых оборотах мишени. Эти ошибки появляются из-за дребезга, возникающего при переходе границы из области засветки в область тени. Можно повысить точность, если применить схему измерения с тремя оптическими парами и мишенью, которая позволяет выдавать трехбитный код. Такая схема измерения позволит регистрировать 1/8 периода оборота.

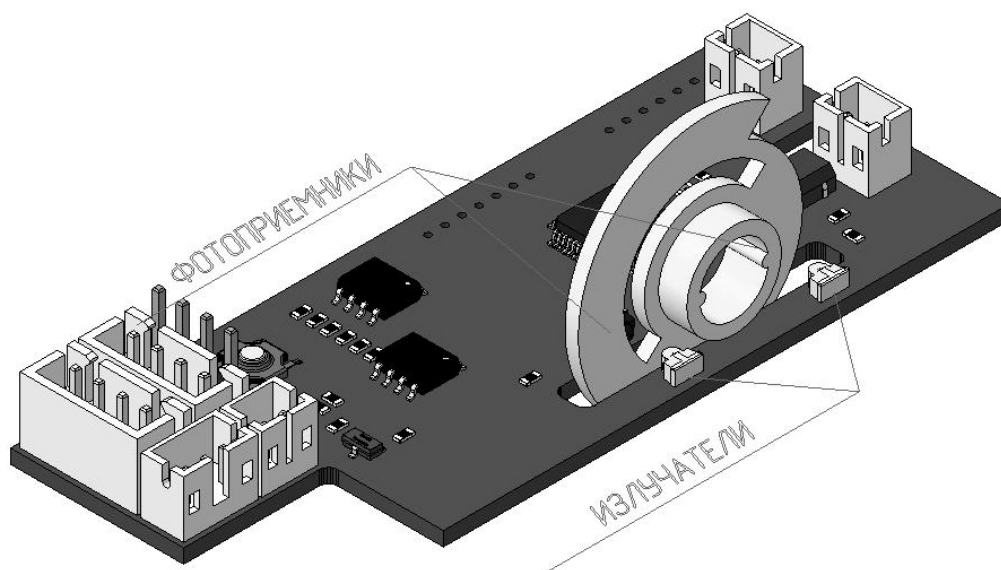


Рис. 2. - Плата газового счетчика с мишенью в коде Грея

Дальнейшее увеличение разрядности цифрового кода приведет к увеличению количество оптических излучателей, которые будут расположены на небольшом расстоянии друг от друга. В таком случае соседние излучатели будут давать паразитную засветку друг на друга. Альтернативным вариантом повышения точности, является увеличение детальности мишени, как показано на рис. 3. Минимальный измеряемый объём газа будет пропорционален $1/8$ оборота мишени. Преимущество такого измерителя то, что у него по-прежнему остается всего два оптических излучателя, при этом минимально измеренный объем газа составит $0,00014875 \text{ м}^3$. Рассматриваемых метод также приведет к увеличению частоты следования импульсов светодиода, что скажется на энергоэффективности.

Для данной мишени воспользуемся значениями для расчетов указанные в таблице 2, количество светодиодов будет равное двум и период импульсов подаваемых на светодиод будет равен $t_c = 5 \text{ мс}$, так как разрешаемая

способность мишени увеличилась в два раза. Полученное значение i_p показано в таблице 4.

Таблица № 4

Потребление прибора учета для мишени с 1/8 периода оборота

| тр, мкс | Rд, кОм | Id, мкА | Iср.диод, мкА | Iср.транзистор, мкА | Iср.инд, мкА | Iср.конт, мкА | Ip., мкА |
|---------|---------|---------|---------------|---------------------|--------------|---------------|----------|
| 10 | 0,105 | 20000 | 2 | 2,2 | 5 | 6,98 | 16,38 |
| 50 | 0,470 | 4200 | 2,1 | 0,41 | 5 | 21,58 | 31,6 |
| 100 | 2,6 | 749 | 0,749 | 0,47 | 5 | 39,50 | 46,93 |

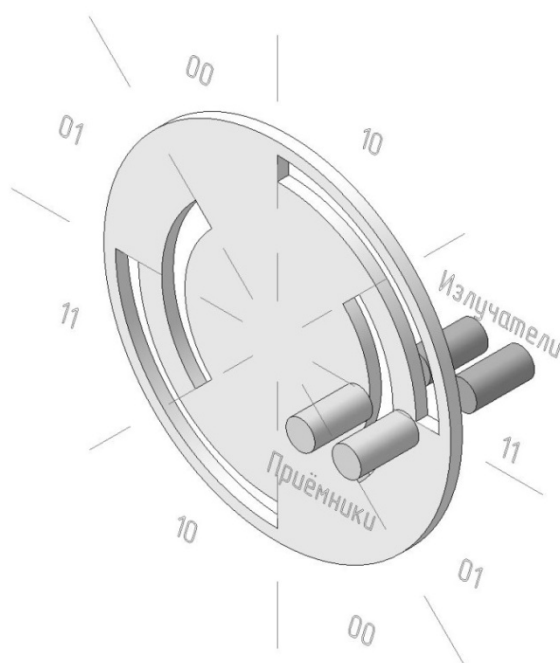


Рис. 3. – Модифицированная мишень с двухбитным кодом Грея

Рассмотренные подходы к построению оптических схем и конструкции мишени были опытно проверены и могут применяться в конечных изделиях. В качестве альтернативы были рассмотрены еще два варианта построения схемы измерения. Первый заключается в реализации оптического энкодера [8], показанного на рис. 4. В этом случае схема измерения всегда будет состоять из двух оптических пар, а разрешение будет определяться шириной

прорезей в оптической мишени. Преимуществом данной схемы является то, что можно реализовать требуемое разрешение путем модификации только самой мишени. Временные диаграммы на выходе оптической схемы с такой мишенью показаны на рис. 5.

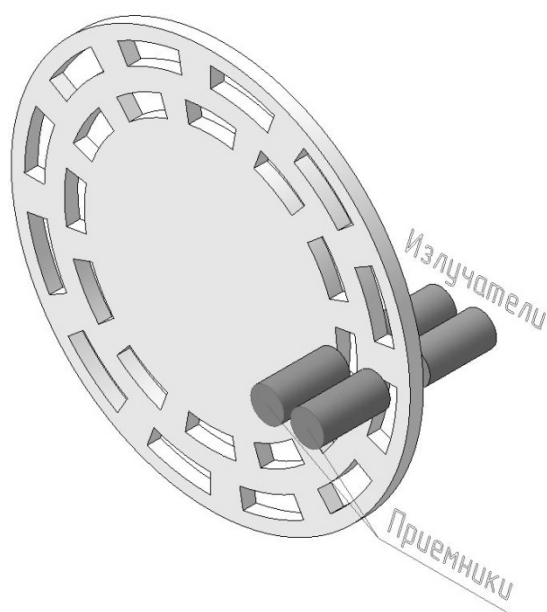


Рис. 4. – Мишень для работы оптического энкодера.

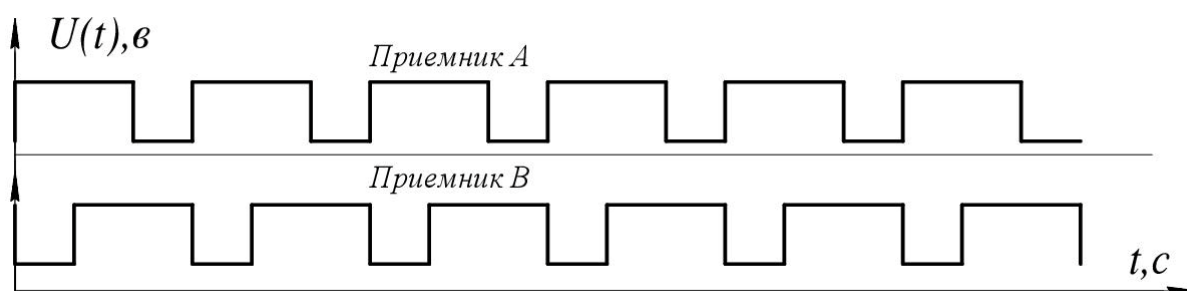


Рис. 5. - Формы электрических сигналов с датчиков оптического энкодера.

Такая схема имеет право на существование, но имеет существенный недостаток, который заключается в том, что оптические излучатели должны работать в непрерывном режиме. Такой режим приведет к существенному увеличению энергопотребления. Потребление прибора учета в случае

использовании энкодера будет равно сумме потребления тока двух светодиодов и двух фототранзисторов включенных постоянно, ток потребления двух светодиодов $i_{диод} = 3080 \text{ мкА}$, ток потребления двух фототранзисторов $i_{транзистора} = 0,326 \text{ мкА}$, общее потребление будет равно $i_{дт} = 3080,3 \text{ мкА}$. При таком построении схемы измерения можно добиться снижения энергопотребления за счет такого алгоритма работы, при котором, пока мишень неподвижна, оптопары работают в импульсном режиме, а когда мишень начинает вращательные движения, включается режим непрерывной работы. Для определения положения вала можно использовать аппаратные ресурсы микроконтроллеров, предназначенные для работы с сигналами энкодера. Это позволит уменьшить время программной обработки сигналов и упростить разработку программного обеспечения. Алгоритм работы такой схемы измерения показан на рис. 6.

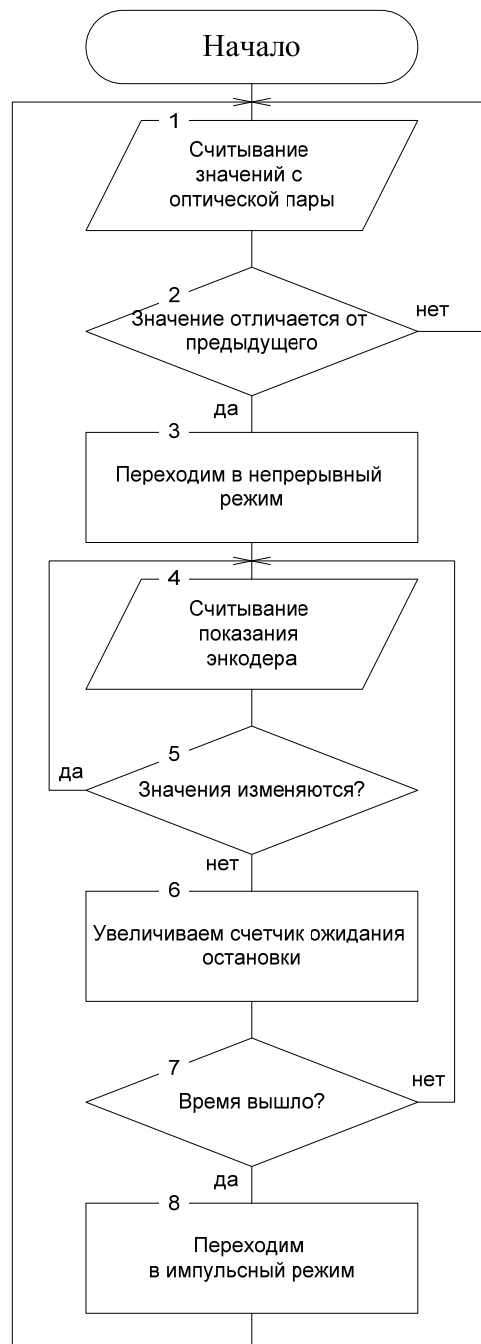


Рис. 6. - Алгоритм работы устройства при реализации оптического энкодера

Второй вариант это использование диска с чередующимися магнитными полюсами [9, 10]. Диск представляет собой полимерный материал с тонкодисперсным магнитным наполнителем. Частицы наполнителя в секторах диска поочерёдно ориентированы в противоположных направлениях, как показано на рис. 7. При вращении

диска магнитное поле мишени воздействуют на датчик Холла, преобразующий изменения магнитного поля в электрический сигнал синусоидальной формы рис. 8 [11]. Для определения положения мишени можно воспользоваться аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера путем анализа уровня аналогового сигнала с датчика Холла. Разрешающая способность такой мишени будет определяться количеством полюсов магнитного диска.

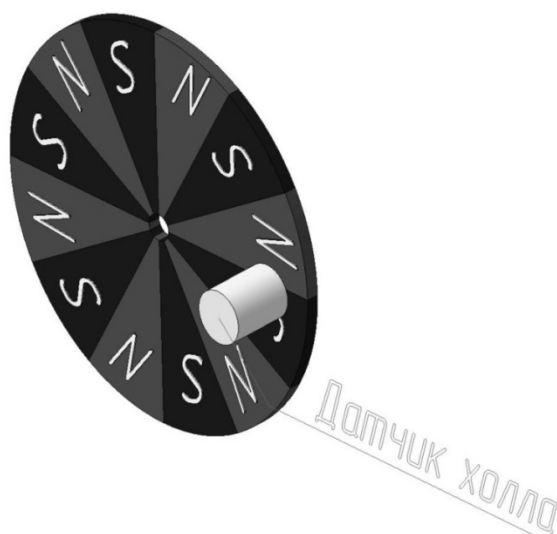


Рис. 7. – Принцип измерения с использованием магнитного диска

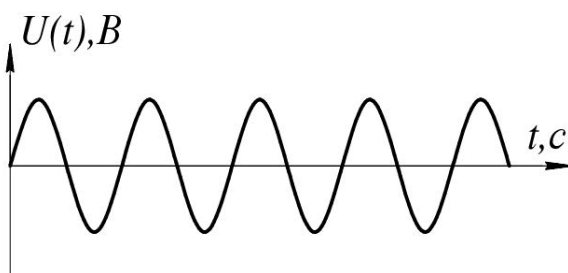


Рис. 8. - Форма электрического сигнала с аналогового датчика Холла

Из выше описанного можно подвести итоги. Наиболее подходящим вариантом реализации схем измерения являются оптические схемы, которые работают в импульсном режиме. Конфигурацию оптических пар и мишени необходимо выбирать из компромисса между точностью измерений и энергопотреблением. Оптимальной конфигурацией оптической пары и

мишени является, использование мишени с $1/4$ оборота и с двумя оптическими парами работающие по коду Грея. Схема измерения на основе энкодера имеет место быть, если применить алгоритм, который позволит снизить потребление в режиме простоя. Однако, когда счетчик будет находиться в активном режиме, такой вариант будет не самым удачным например в зимний период, когда устройство постоянно находится в режиме измерений. Реализация измерений с датчиком Холла так же требует выполнение постоянных измерений сигнала на выходе с помощью АЦП, что приводит к увеличению энергопотребления. Кроме того, такие схемы измерения чувствительны к воздействию внешнего магнитного поля.

Рассмотрим, как можно улучшить энергоэффективность прибора, который работает в импульсном режиме. Первое, что можно сделать - это существенно уменьшить частоту опроса оптической схемы в ждущем режиме. После того как будет обнаружено движение частота опроса увеличивается до максимального значения и происходит процесс измерения. В процессе измерения параллельно можно измерять частоту вращения мишени, как это показано на рис. 9. Если текущий расход находится в первом диапазоне, то частоту можно снизить, если во время работы расход увеличится, то и частота увеличивается.

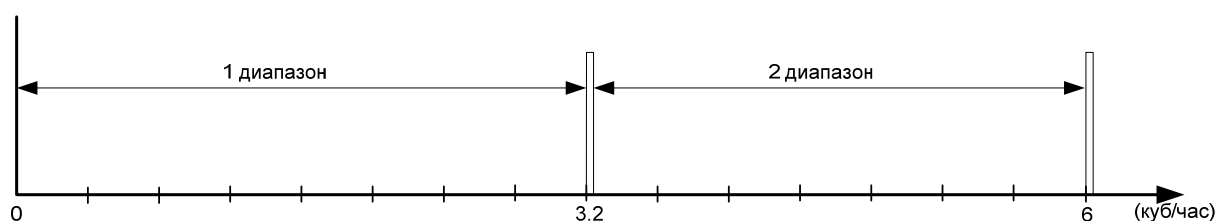


Рис. 9. - Динамическое изменение частоты работы оптической схемы

Алгоритм работы устройства для представленного случая показан на рис. 10.

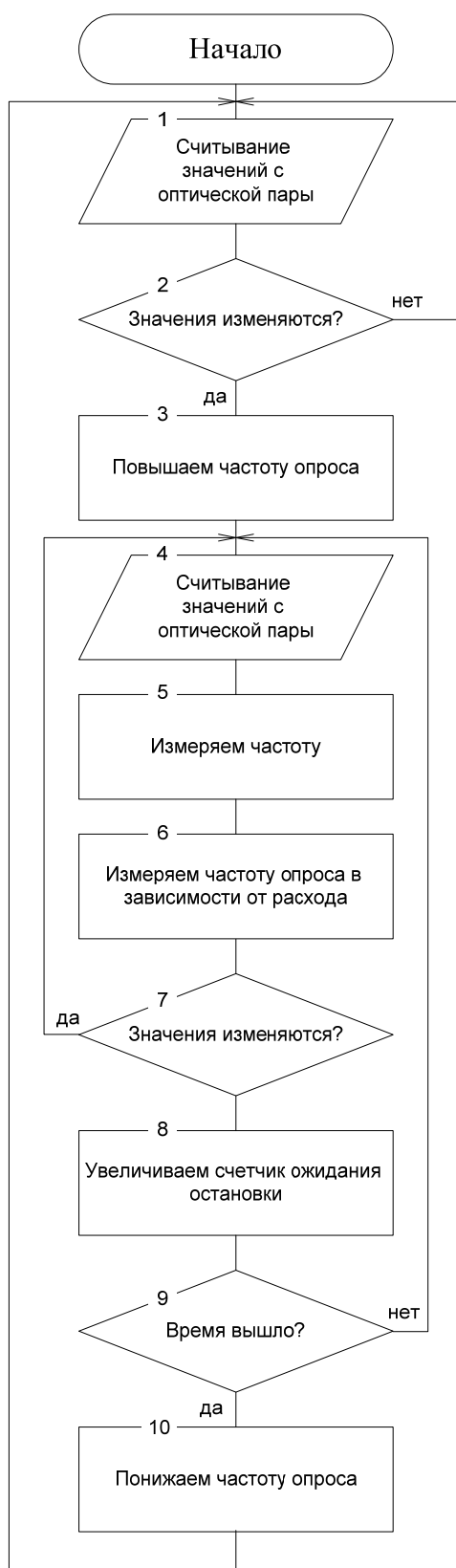


Рис. 10. - Алгоритм динамического изменения частоты работы оптической схемы в импульсном режиме

Выводы.

В ходе работы были рассмотрены варианты построения измерительных схем, устройства учета расхода природного газа. Показано, что изменяя как электронную часть измерительной схемы, так и механическую можно добиться повышения разрешающей способности приборов учета. Были рассмотрены варианты построения оптической и механической измерительной части устройства и представлены их геометрические модели, описаны их преимущества и недостатки. Представлен алгоритм работы устройства учета для оптического энкодера, который позволит снизить энергопотребление в режиме простоя и алгоритм динамического изменения частоты работы оптических пар в импульсном режиме [12].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Работа выполнялась во ФГАОУ ВО ЮФУ.

Литература

1. ОАО "ИНТЕГРАЛ" Индикаторы общего применения.
URL: integral.by/ru/products/indikatory-obshchego-primeneniya?product=2223
(Дата обращения: 16.05.2018)
2. Беляев А.О., Ковтун Д.Г. Электронная температурная коррекция объема в приборах учета потребления природного газа // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3837
3. Волков А. Ю. О состоянии и перспективах развития средств измерения углового перемещения // Проблемы автоматизации и управления, 2014, №. 1. С. 160-168.

4. Infrared Emitting diode KP-3216F3C. URL: lib.chipdip.ru/195/doc000195243.pdf (Circulation date 02.06.2018).
5. Акользин А.Н., Ковтун Д.Г., Легин А.Н. Исследование методов снижения энергопотребления оптических схем измерения положения мишени. // Известия ЮФУ. Технические науки. Номер 6(191) – 2017. С. 159-168.
6. STM8L152x68-bit ultra-low-power MCU. URL: st.com/resource/en/datasheet/stm8l152k6.pdf (Circulation date: 02.06.2018).
7. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007. 1104 с.
8. Мосур А. А., Шведов А. П. Кодированная последовательность для восьмиразрядного одностороннего абсолютного оптического энкодера // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2016, №. 12-1, С. 214 - 225.
9. Гауф А., Гусева А. Магнитные датчики угла поворота (энкодеры) EсоTurn // Компоненты и технологии, 2012, №. 1. С. 38-41.
10. Смирнов Ю. С. и др. Аналого-цифровые преобразователи составляющих перемещения с применением микроэлектронных синусно-косинусных магнитных энкодеров // Измерительная техника, 2014, №. 1. С. 28-31.
11. Фигурнов Е. П. Расчет цепей с датчиками ЭДС Холла // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 1963, №. 12. С. 1338-1338.
12. Семенистая Е.С., Анацкий И.Г., Бойко Ю.А. Разработка программного обеспечения автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов и воды // Инженерный вестник Дона, 2016. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3897.

References

1. OAO "INTEGRAL" Indikatory obshchego primeneniya [OAO INTEGRAL Indicators of general application] URL: integral.by/ru/products/indikatory-obshchego-primeneniya?product=2223 (Circulation date: 16.05.2018)
-



2. Belyaev A.O., Kovtun D.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3837.
3. Volkov A.Yu. Problemy avtomatiki i upravleniya, 2014, №. 1. pp. 160-168.
4. Infrared Emitting diode KP-3216F3C. URL:
lib.chipdip.ru/195/doc000195243.pdf (Circulation date 02.06.2018).
5. Akol'zin A.N., Kovtun D.G., Legin A.N. Izvestija JUFU. Tehnicheskie nauki.
№ 6(191). 2017. pp. 159-168.
6. STM8L152x68-bit ultra-low-power MCU. URL:
st.com/resource/en/datasheet/stm8l152k6.pdf (Circulation date: 02.06.2018).
7. Sklyar B. Tsifrovaya svyaz': Teoreticheskiye osnovy i prakticheskoye primeneniye [Digital Communication: Theoretical Foundations and Practical Applications] M.: Vil'yams, 2007. 1104 p.
8. Mosur A.A., Shvedov A.P. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki, 2016, №. 12-1, pp. 214 – 225.
9. Gauf A., Guseva A. Komponenty i tekhnologii, 2012, №. 1. pp. 38-41.
10. Smirnov YU. S. i dr. Izmeritel'naya tekhnika, 2014, №. 1. pp. 28-31.
11. Figurnov Ye. P. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika, 1963, №. 12. pp. 1338-1338.
12. Semenistaya Ye.S., Anatskiy I.G., Boyko YU.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3897.