

**Министерство образования и науки ДНР
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донецкий национальный технический университет»**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ.
ПОИСК МОЛОДЫХ**

**XXIII Международная научно-техническая
конференция аспирантов и студентов
(в рамках 9-го Международного научного форума
«Инновационные перспективы Донбасса»)**

23-25 мая 2023 года

**Сборник научных трудов
конференции**

**Донецк
2023**

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ TRUE RMS ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Кузнецов Д.Н., зав.каф., к.т.н., доц.; Захарченко И.А., студент

(ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР, РФ)

Точные измерения - трудная задача, стоящая перед технологами и специалистами по обслуживанию современных производств и оборудования различных организаций. В нашу повседневную жизнь все больше и больше входят персональные компьютеры, приводы с регулируемой скоростью и другое оборудование, имеющее несинусоидальные характеристики потребляемого тока и рабочего напряжения (в виде кратковременных импульсов, с искажениями и т.п.). Такое оборудование может вызвать неадекватные показания обычных измерителей с усреднением показаний (вычисляющих среднеквадратическое значение).

RMS означает среднеквадратичное значение, а *TRMS* (True RMS) - истинное среднеквадратичное значение. Инструменты *TRMS* намного более точны, чем *RMS* при измерении переменного напряжения и тока. Поэтому все профессиональные мультиметры имеют возможности измерения *True RMS*.

Самый распространенный способ измерения такого среднеквадратического значения напряжения при помощи измерительного прибора заключается в выпрямлении переменного тока, определении среднего значения выпрямленного сигнала и умножении результата на коэффициент *1,1* (соотношение между средним и среднеквадратическим значениями идеальной синусоиды). Однако, при отклонении синусоидальной кривой от идеальной формы данный коэффициент перестает действовать. По этой причине измерители с усреднением показаний зачастую дают неверные результаты при измерении токов в современных силовых сетях.

Таким образом, *RMS* измерения нельзя считать надежными, потому что в любой установке в реальных условиях имеется множество источников шума, из-за которых форма волны переменного напряжения никогда не бывает идеальной, что приводит к большим погрешностям измерений.

При измерении *True RMS* используется более сложный математический аппарат определения реального эффективного значения переменного напряжения, не зависимо от формы его кривой, что позволяет приблизить значение к реальности и существенно повысить точность измерений.

Целью работы является исследование простого и максимально дешевого способа измерения *True RMS* переменного напряжения с использованием 8-разрядного микроконтроллера.

Измерение *True RMS* переменного напряжения - задача не совсем простая [1]. Как известно действующее значение переменного напряжения определяется выражением

$$U_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}, \quad (1)$$

где $u(t)$ - мгновенное значение напряжения; T – период сигнала.

При аппаратной реализации для вычисления подинтегрального выражения необходимо проквантовать сигнал с некоторой частотой, заведомо превосходящей не менее чем в 10 раз частоту квазисинусоиды.

Также необходимо учесть, что все стандартные микроконтроллеры имеют однополярное питание. Поэтому измерить мгновенное переменное напряжение в момент отрицательной полуволны не представляется возможным.

В работе [2] предложено простое решение, как внести постоянную составляющую в сигнал. Вместе с тем в том решении определение момента, когда стоит начать или закончить процесс вычисления *True RMS* представляется довольно громоздким.

В данной работе предлагается метод преодоления этого недостатка, а также вычисление интеграла с большей точностью, что позволяет снизить программно-аппаратные затраты на реализацию данного способа до минимума.

Рассмотрим структурную схему процесса вычисления *True RMS*, представленную на рисунке 1 [3]. Данная схема обеспечивает преобразование среднеквадратичного значения переменного напряжения произвольной формы в постоянное напряжение.

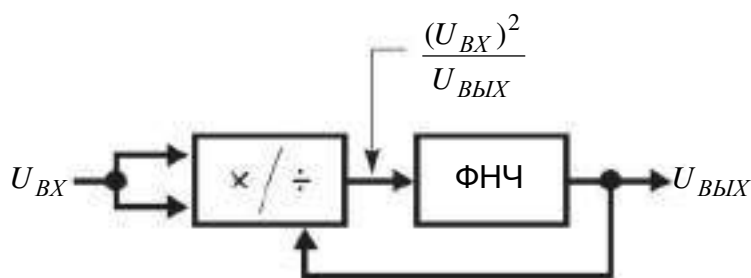


Рисунок 1 – Структурная схема процесса вычисления *True RMS* переменного напряжения

В первом блоке выполняется операция возведения входного сигнала U_{BX} в квадрат с последующим делением на выходной сигнал U_{BYX} . Полученный результат пропускается через фильтр низких частот (ФНЧ), который выделяет постоянную составляющую и формирует выходной сигнал преобразователя, равный *True RMS* входного сигнала.

Рассмотрим математический аппарат, реализованный в предложенной структурной схеме:

$$U_{BYX} = \overline{\left(\frac{(U_{BX})^2}{U_{BYX}} \right)}. \quad (2)$$

Т.к. U_{BYX} – это сигнал постоянного тока, то

$$\overline{\left(\frac{(U_{BX})^2}{U_{BYX}} \right)} = \frac{\overline{(U_{BX})^2}}{U_{BYX}}, \quad (3)$$

тогда

$$U_{BYX} = \frac{\overline{(U_{BX})^2}}{U_{BYX}}. \quad (4)$$

Далее

$$(U_{BYX})^2 = \overline{(U_{BX})^2}. \quad (5)$$

В итоге получим

$$U_{BbIX} = \sqrt{(U_{BX})^2} = RMS(U_{BX}). \quad (6)$$

С целью проверки предложенного способа вычисления *True RMS* переменного напряжения выполним моделирование структурной схемы в программе Proteus ISIS (см. рисунок 2).

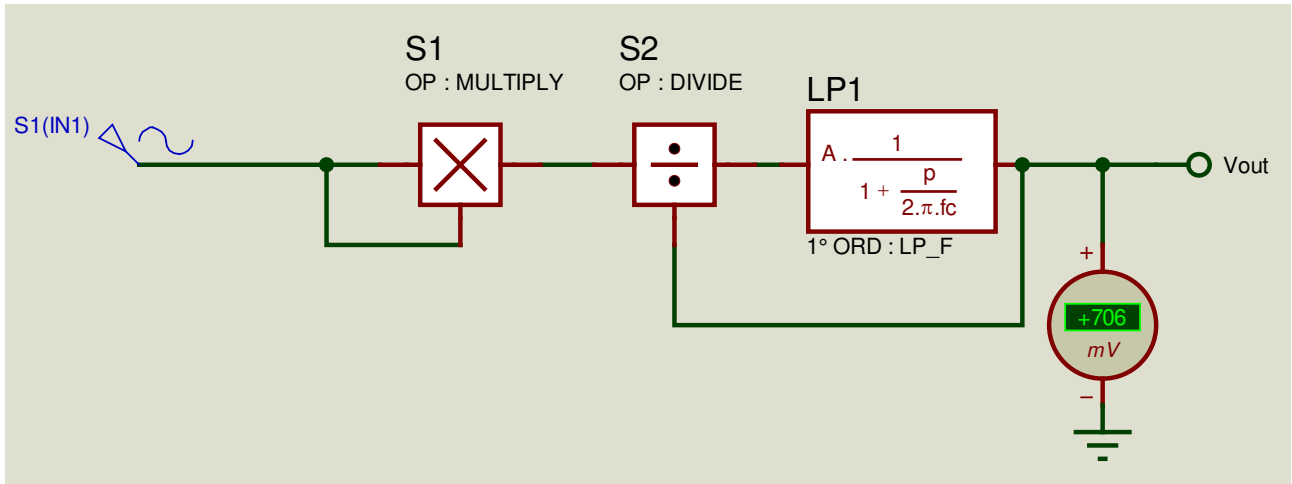


Рисунок 2 – Модель структурной схемы в программе Proteus ISIS

Модель содержит блок умножения аналоговых сигналов S1, блок деления аналоговых сигналов S2 и фильтр низких частот первого порядка LP1 с частотой среза 1 Гц. В результате моделирования при подаче на вход схемы синусоидального напряжения амплитудой 1 вольт и частотой 50 Гц на выходе получено напряжение постоянного тока 0,706 В, что в точности соответствует расчетному значению.

На рисунке 3 приведена модель принципиальной схемы измерителя true RMS переменного напряжения, выполненная на базе 8-разрядного микроконтроллера ATmega328.

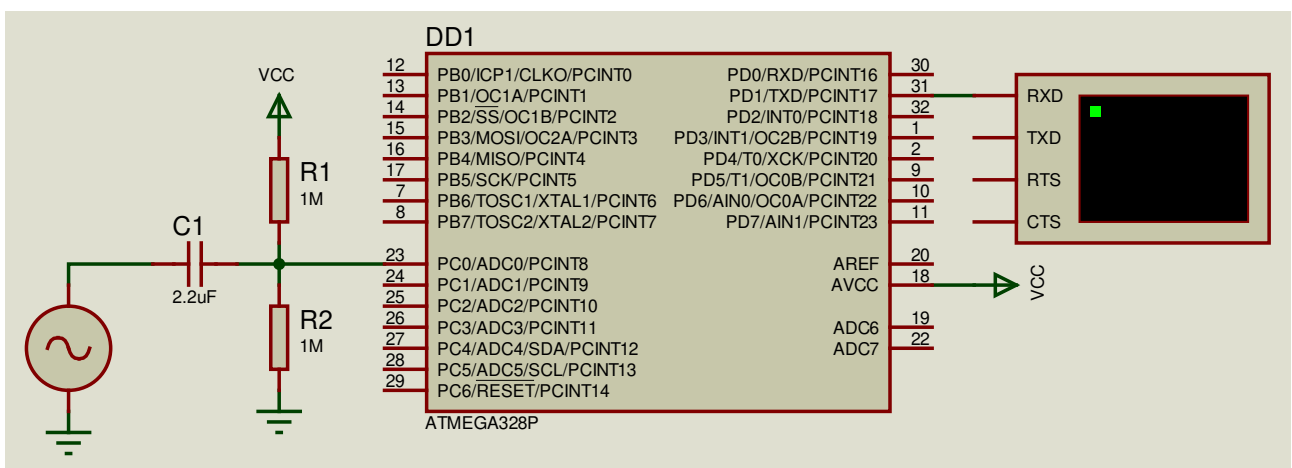


Рисунок 3 – Модель принципиальной схемы измерителя true RMS на микроконтроллере

На элементах R1, R2 и C1 собрана схема смещения измерительного сигнала ровно на половину напряжения питания микроконтроллера VCC. Это же напряжение подано на вход AVCC и является опорным для встроенного 10-разрядного аналогоцифрового преобразователя АЦП. Для визуализации результатов работы используется виртуальный терминал, подключенный к выходу COM-порта микроконтроллера TxD.

На рисунке 4 приведена программная реализация рассмотренного выше алгоритма работы микроконтроллера, реализующего принцип преобразования *true RMS* в постоянный сигнал.

Частота дискретизации при моделировании была принята равной $F_c=500$ Гц, коэффициент фильтра $F_COEF=0,002$.

В результате моделирования получили кривую изменения выходного напряжения схемы при подаче на вход синусоидального напряжения амплитудой 1 В с частотой 50 Гц (см. рисунок 5). Из результатов следует, что переходной процесс установления результатов измерений длится порядка 3 секунд. После чего среднее значение выходного напряжения равно 0,706 В, а уровень пульсаций не превышает 1 мВ.

Для уменьшения длительности переходного процесса можно увеличить коэффициент фильтра F_COEF , при этом, однако, возрастет уровень пульсаций выходного напряжения.

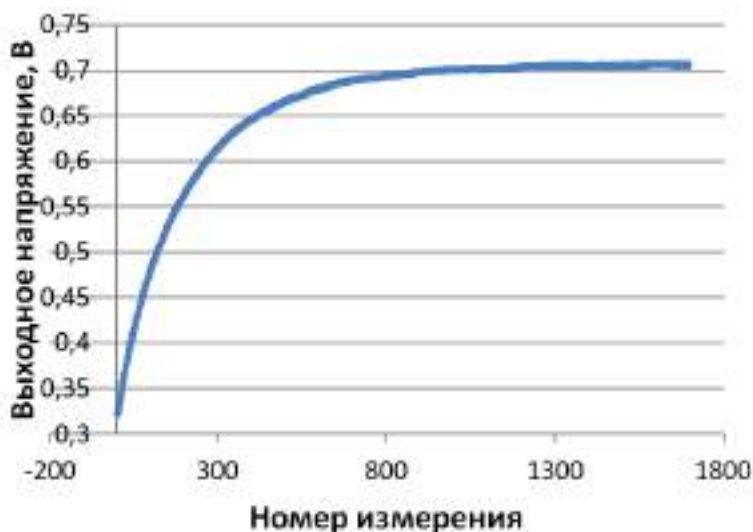
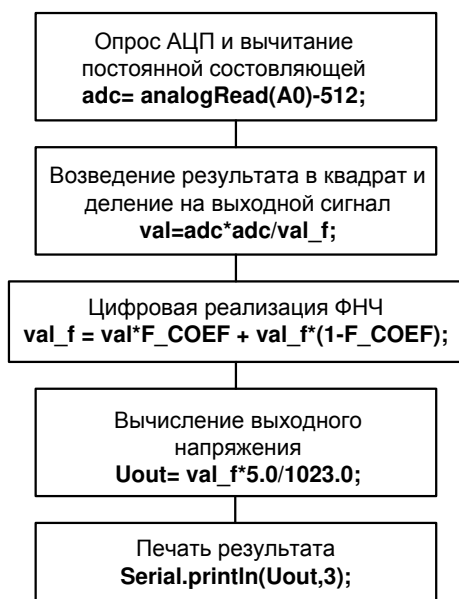


Рисунок 4 – Алгоритм вычислений

Рисунок 5 – Результаты моделирования схемы

Выводы.

1. Предложенный способ измерения истинного среднеквадратичного значения переменного напряжения (*True RMS*) на базе 8-разрядного микроконтроллера позволяет сократить до минимума число электронных компонентов схемы, обеспечив низкую стоимость и высокую надежность.

2. Алгоритм вычислений имеет простую программную реализацию, доступную для воспроизведения начинающими специалистами.

Перечень ссылок

1. Кузнецов, Д.Н. Современные микроконтроллеры в системах измерения, управления, обработки и отображения информации : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / Д. Н. Кузнецов ; ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк : ДОННТУ, 2020. – 400 с.

2. Бюджетный вариант измерения TrueRMS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/321008/> (дата обращения: 04.04.2023).

3. LTC1966 Linear Precision Micropower, RMS-to-DC Converter. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipfind.ru/datasheet/liner/ltc1966.htm> (дата обращения: 04.04.2023).