

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ ЧАСТОТОМЕР С ГРАФИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИЕЙ И АППАРАТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ СЧЁТА

Василевский П.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы построения реверсивного частотомера, включая разработку структурной схемы устройства, методы формирования квадратурных сигналов и реализацию реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера. Проведено сравнение методов измерения частоты (прямого, обратного и комбинированного), показаны преимущества реверсивного метода. Описана организация вывода информации на графический дисплей с отображением частоты, направления счёта и гистограммы изменения сигнала. Показано, что предложенные решения обеспечивают высокую точность, наглядность и эффективность работы устройства.

Ключевые слова: реверсивный частотомер, измерение частоты, реверсивный счёт, квадратурные сигналы, методы измерения частоты, точность измерений, графический дисплей, отображение данных.

Введение. Современные методы измерения частоты сигналов основаны на цифровой обработке импульсных последовательностей и позволяют получать точные значения частоты, периода и временных интервалов. В отличие от устаревших аналоговых методов, современные электронные частотомеры используют микропроцессорную и цифровую элементную базу, что обеспечивает высокую точность измерений, расширенный функционал и возможность автоматической обработки результатов [1–4].

С развитием цифровой электроники и измерительных систем возрастают требования к функциональности частотомеров. Помимо базового измерения частоты, устройства должны обеспечивать широкий диапазон измерений, высокую разрешающую способность, устойчивость к помехам и возможность работы в различных режимах, включая реверсивный счёт. Перспективным является использование высокостабильных опорных генераторов, цифровых счётчиков и современных схемных решений.

Целью данной работы является разработка и анализ конструкции реверсивного частотомера, а также исследование особенностей его практической реализации с обеспечением высокой точности, надёжности и стабильности работы.

Основная часть. Существует несколько основных методов измерения частоты, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Метод прямого счёта основан на подсчёте количества импульсов входного сигнала за фиксированный интервал времени, формируемый опорным генератором. Этот метод отличается простотой реализации и высокой точностью при измерении высоких частот, поскольку за время измерения накапливается большое количество импульсов. Однако при низких частотах его точность существенно снижается из-за малого числа отсчётов, что приводит к увеличению относительной погрешности.

Метод обратного счёта (измерение периода) заключается в измерении времени между двумя соседними импульсами входного сигнала с использованием высокостабильного опорного генератора. Такой подход обеспечивает высокую точность при низких частотах, так как измеряется длительный временной интервал. Недостатком является снижение точности на высоких частотах, а также повышенные требования к быстродействию измерительной системы.

Комбинированный метод объединяет преимущества двух предыдущих: в зависимости от диапазона частот автоматически выбирается либо прямой счёт, либо измерение периода. Это позволяет обеспечить более равномерную точность во всём диапазоне измерений, однако усложняет схемотехнику и алгоритмы обработки данных.

В реверсивном частотомере используется усовершенствованный подход, близкий к комбинированному методу, но с применением реверсивного счёта и синхронизации измерительного интервала с фронтами входного сигнала. Это позволяет уменьшить погрешность квантования и повысить точность измерений как на низких, так и на высоких частотах.

К основным преимуществам такого подхода относятся более высокая точность во всём диапазоне измерений, снижение влияния нестабильности временного окна, улучшенная помехоустойчивость за счёт синхронизации с входным сигналом, а также возможность определения направления изменения сигнала. Благодаря этому реверсивный частотомер обеспечивает более стабильные и достоверные результаты по сравнению с классическими методами измерения частоты.

Структурная схема реверсивного частотомера включает несколько функциональных узлов, обеспечивающих обработку входного сигнала и вычисление его частотных параметров. Входной сигнал поступает на формирователь, где происходит его преобразование в последовательность прямоугольных импульсов с заданными уровнями напряжения. Далее сигнал подаётся на счётный узел, состоящий из цифровых счётчиков, которые осуществляют накопление импульсов за определённый временной интервал, задаваемый опорным генератором. Опорный генератор формирует стабильную временную базу, определяющую точность измерения. Управляющий блок синхронизирует процессы запуска и остановки счёта, а также переключение режимов работы. Полученные данные передаются в блок обработки, где вычисляется значение частоты, после чего результат выводится на индикатор или передаётся во внешние системы.

Реализация реверсивного счётчика на аппаратных таймерах микроконтроллера основана на использовании встроенных периферийных модулей, предназначенных для подсчёта внешних импульсов и обработки сигналов с минимальной нагрузкой на центральное ядро. В большинстве современных микроконтроллеров таймеры могут работать в режиме счётчика, принимая импульсы с внешнего входа и инкрементируя или декрементируя своё значение в зависимости от управляющих сигналов.

Для организации реверсивного счёта входной сигнал подаётся на один из каналов таймера, настроенного в режим внешнего тактирования. Одновременно второй вход используется для определения направления счёта. В случае применения квадратурных сигналов (А и В) аппаратный таймер может работать в специальном режиме энкодера, при котором направление определяется автоматически на основе фазового сдвига между сигналами. Если сигнал А опережает сигнал В, таймер увеличивает значение счётчика, если отстаёт – уменьшает.

Аппаратные таймеры обеспечивают высокую точность и быстродействие, так как обработка сигналов выполняется на уровне периферии без участия процессора. Это позволяет измерять частоты в широком диапазоне и минимизировать влияние программных задержек. Дополнительно таймер может быть связан с другим таймером или внутренним генератором, формирующим временное окно измерения, по окончании которого текущее значение счётчика фиксируется и используется для вычисления частоты.

Для повышения надёжности работы используются встроенные фильтры входных сигналов и схемы подавления дребезга, что особенно важно при работе с реальными источниками импульсов. Также возможна генерация прерываний при переполнении счётчика или завершении измерительного интервала, что позволяет организовать обработку результатов и дальнейшую передачу данных.

Вывод частоты осуществляется в цифровом виде с учётом выбранного диапазона и разрешения измерений. Значение может автоматически масштабироваться (Гц, кГц, МГц), что

позволяет удобно отображать как низкие, так и высокие частоты без перегрузки экрана. Для повышения читаемости используются крупные шрифты и обновление значения производится с учётом завершения измерительного интервала.

Направление счёта отображается с помощью графических индикаторов, например стрелок или символов, указывающих увеличение или уменьшение счётного значения. Это особенно важно при работе с реверсивным режимом, где необходимо оперативно отслеживать изменение входного сигнала.

Для реализации вывода используется контроллер графического дисплея, взаимодействующий с микроконтроллером по интерфейсам SPI или I2C. Программная часть включает формирование кадров изображения, буферизацию данных и оптимизацию обновления экрана для снижения нагрузки на систему. В результате обеспечивается информативный и удобный интерфейс, повышающий эффективность работы с устройством.

Заключение. В результате рассмотрения структурной организации реверсивного частотомера, методов формирования квадратурных сигналов, реализации реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера, а также сравнения методов измерения частоты, установлено, что применение реверсивного принципа счёта позволяет существенно повысить точность измерений во всём диапазоне частот. Использование аппаратных возможностей микроконтроллера обеспечивает высокое быстродействие и снижает нагрузку на программную часть, а применение квадратурных сигналов позволяет корректно определять направление изменения сигнала.

Список литературы

1. Reciprocal Frequency Counter / Charles Kosina // Practical Electronics. – 2024. – № 7. – С. 30-36.
2. Лежнев, А.В. Цифровые измерительные системы учета электроэнергии: учебное пособие / А.В. Лежнев. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 88 с.
3. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.
4. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

MICROCONTROLLER-BASED REVERSIBLE FREQUENCY COUNTER WITH GRAPHICAL DISPLAY AND HARDWARE-BASED DETERMINATION OF COUNTING DIRECTION

Vasileuski P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

*Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information
and Computer Systems Design*

Annotation. The paper considers the principles of designing a reciprocal frequency counter and the features of its implementation based on modern electronic components. Particular attention is paid to ensuring high measurement accuracy through the use of a reversible counting method, hardware timers of a microcontroller, and quadrature signal generation for direction detection.

Various frequency measurement methods are analyzed, and the chosen approach is justified as it reduces measurement error over a wide frequency range. The organization of data output to a graphical display is also discussed, providing clear and informative visualization of measurement results. It is shown that the proposed solutions improve the efficiency and reliability of the device.

Keywords: reciprocal frequency counter, frequency measurement, reversible counting, quadrature signals, frequency measurement methods, measurement accuracy, graphical display.