

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

*Вагин Н.А., Мительман Ю.Е.*

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
Екатеринбург, Россия

*nik.vagin2002@mail.ru y.e.mitelman@urfu.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается процесс разработки цифрового частотомера для автоматизированной системы управления технологическим процессом, работающий в диапазоне частот 60–12600 Гц, и обеспечивающий точность  $\pm 0,6$  Гц на всем диапазоне рабочих частот, при амплитуде входных сигналов от 0,01 до 2,2 В. В результате работы разработана схема частотомера и изготовлен его прототип. Были проведены исследования характеристик модели измерительного тракта устройства, которые показали соответствие её параметров требованиям, которые предъявляют к системам контроля, входящих в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами. Результаты исследования представляют собой вклад в развитие автоматизированных систем управления технологическими процессами.

**Ключевые слова:** измерительный тракт, частота, сигнал, система, моделирование.

**MODERNIZATION OF AN AUTOMATED PROCESS CONTROL  
SYSTEM**

*Vagin N.A., Mitelman Y.E.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The paper deals the process of developing a digital frequency counter for an automated process control system, operating in the frequency range of 60–12600 Hz, and providing an accuracy of  $\pm 0.6$  Hz over the entire operating frequency range with input signal amplitude from 0.01 to 2.2 V. As a result of this

work, a frequency meter circuit was developed, and its prototype was manufactured. Studies were carried out of the characteristics of the model of the measuring path of the device, which showed that its parameters corresponded to the requirements for control systems that are part of automated process control systems. The results of the study represent a contribution to the development of automated process control systems.

**Keywords:** measuring path, frequency, signal, system, modeling.

## **1. Введение**

При эксплуатации технологического оборудования важно контролировать его техническое состояние для прогнозирования и предотвращения сбоев и аварий, которые приводят к остановке налаженного процесса и, соответственно, финансовым потерям. Данный контроль для определенного оборудования можно осуществлять путем измерения частоты сигналов, поступающих с датчиков, установленных непосредственно на элементах оборудования. Анализируя частоту сигналов с датчиков, можно косвенно судить о состоянии агрегатов и осуществлять своевременный вывод неисправных частей в ремонт, тем самым предотвращая аварийные ситуации.

Для измерения частоты используются следующие методы измерения: аналоговые, цифровые и гибридные (с совместным использованием цифровых и аналоговых способов обработки сигналов). Аналоговые методы на сегодняшний день утратили свою актуальность. Основной их проблемой является низкая точность (хороший показатель точности для умеренно сложного аналогового частотомера составляет около 1 %) [1].

Цифровые методы обеспечивают наилучшую точность измерения частоты при сравнительно простом устройстве измерительного прибора. Во всем диапазоне рабочих частот сохраняется высокая точность и скорость измерений, кроме того, цифровые частотомеры удобны в использовании. Даже в приборах любительского уровня достигается точность около  $10^{-6}$  [1].

Для повышения точности применяют усреднение измеренных длительностей импульсов [2].

## 2. Моделирование измерительного тракта устройства

Измерительный тракт осуществляет подготовку сигнала к дальнейшей его обработке микроконтроллером. Так как сигналы имеют различную амплитуду в зависимости от частоты в аналоговую часть устройства был добавлен частотно-зависимый усилитель, который преобразует входной сигнал независимо от его амплитуды в сигнал с амплитудой 1,5 В. Данное преобразование позволит добиться заданной точности, так как сигнал подается на АЦП микроконтроллера с диапазоном входных напряжений от 0 до 3,3 В. Для преобразования синусоидального сигнала в сигнал прямоугольной формы в измерительный тракт был добавлен компаратор, включенный по схеме, обеспечивающей гистерезис, для исключения ложных срабатываний компаратора. Методика расчетов, а также схемы включения отдельных элементов аналоговой части были взяты из книги [3].

Моделирование было произведено для аналоговой части частотомера, в целях проверки результатов расчётов параметров элементов, а также правильности схемотехнических решений. На рисунке 1 изображена схема, построенная после расчета и выбора номиналов элементов. в программе *NI Multisim 13.0*.

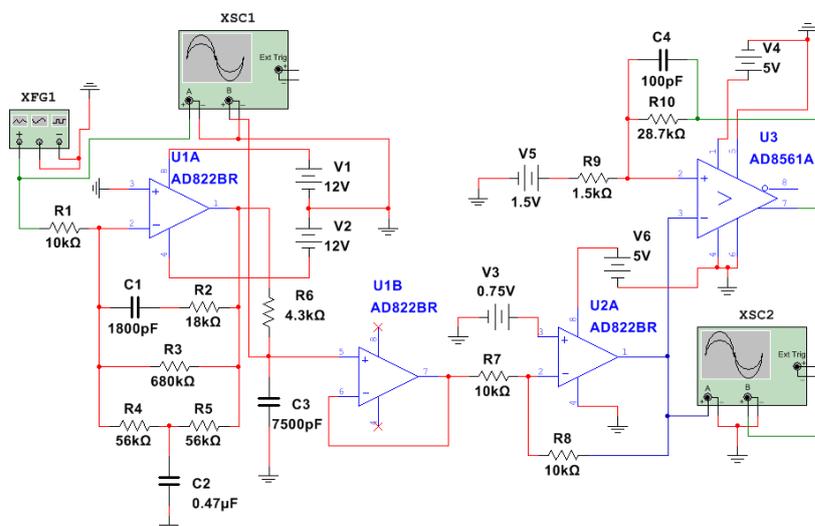


Рисунок 1 – Модель измерительного тракта, полученная в *NI Multisim*

Полученные в ходе моделирования сигналы по форме соответствуют ожидаемым, а численные значения незначительно отличаются от расчетных.

После прохождения измерительного тракта сигнал поступает на АЦП микроконтроллера. Производится первичный расчет частоты и вычисляется число периодов для данной частоты, которое может поместиться в промежуток времени, равный времени измерения одного канала, то есть число элементов массива. Далее с помощью таймера происходит измерение периодов, поступающих импульсов. После заполнения массива со значениями периодов вычисляется среднее арифметическое значение данного массива и далее вычисляется окончательное значение частоты. Программа была опробована на макетной печатной плате (рисунок 2). Результаты измерений приведены в таблице 1. Средняя приведенная погрешность устройства составила 0,00184 %, при допустимой 0,00476 %.

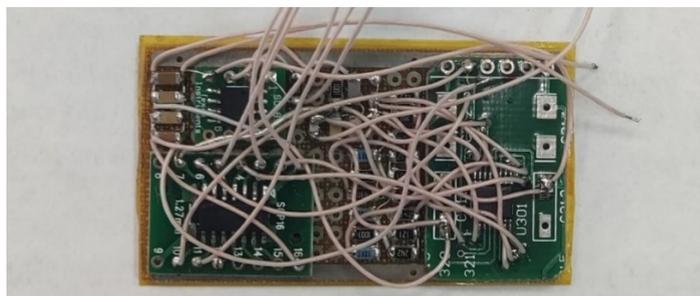


Рисунок 2 – Макетная плата

Таблица 1 – Погрешности измерений

Q, Гц	X, Гц	$ \Delta X $	$\gamma, \%$
60	59,999	0,0013	1,0582E-05
600	600,164	0,1640	0,001301587
1200	1200,325	0,3247	0,002576720
1800	1800,133	0,1327	0,001052910
2400	2400,274	0,2740	0,002174603
3000	3000,122	0,1220	0,000968254
3600	3600,146	0,1460	0,001158730
4200	4200,167	0,1669	0,001324868
4800	4800,297	0,2973	0,002359788
5400	5400,309	0,3087	0,002449735
6000	6000,379	0,3787	0,003005291
6600	6600,435	0,4353	0,003455026

Продолжение таблицы 1

Q, Гц	X, Гц	\Delta X	\gamma, %
7200	7200,168	0,1680	0,001333333
7800	7800,280	0,2800	0,002222222
8400	8400,401	0,4013	0,003185185
9000	9000,271	0,2707	0,002148148
9600	9600,309	0,3087	0,002449735
10200	10200,156	0,1560	0,001238095
10800	10800,301	0,3007	0,002386243
11400	11400,126	0,1260	0,001000000
12000	12000,159	0,1593	0,001264550
12600	12600,187	0,1873	0,001486772

### 3. Заключение

В результате работы были разработаны схема электрическая принципиальная платы устройства и алгоритм управления схемой, был изготовлен и проверен функциональный прототип частотомера, и проверены его характеристики, которые соответствуют требованиям, предъявленным к данному устройству. Также удалось увеличить количество обрабатываемых каналов в два раза, по сравнению с существующим решением, которое используется в настоящее время. Данная модернизация позволит сократить годовые затраты на оборудование подобного типа.

#### Список использованных источников

1. Измерение частоты сигналов : сайт. – URL: <https://www.rotr.info/electronics/prj/fmeter/index.htm> (дата обращения: 25.03.2024).

2. Громов Д.В., Суяков С.А. Методы измерения и преобразования частотно-временных параметров сигналов // Журнал «ИСУП» : науч.-техн. журн. : электр. версия. 2013 №3(45). URL: <https://isup.ru/articles/16/4896/> (дата обращения: 25.03.2024).

3. Картер Б. Операционные усилители для всех / пер. с англ. А.Н. Рабодзея; Б. Картер, Р. Манчини. – Москва: Додэка – XXI, 2011. – 544 с.