Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

V Национальная научно-практическая конференция
(Казань, 12–13 декабря 2019 г.)

Материалы конференции

В двух томах

Том 1

Казань
2019

УДК 621.313
ББК 31.261
П75

Рецензенты:
д-р техн. наук, зав. кафедрой электропривода и электротехники
ФГБОУ ВО «КНИТУ» В.Г. Макаров
канд. техн. наук, зав. кафедрой электроэнергетических систем и сетей
ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.В. Максимов

Редакционная коллегия:
Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), И.Г. Ахметова,
О.В. Козелков, О.В. Цветкова

П75 **Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве:** матер. V Национальной науч.-практ. конф. (Казань, 12–13 декабря 2019 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Т. 1. – 732 с.

ISBN 978-5-89873-557-9 (т. 1)
ISBN 978-5-89873-556-2

Опубликованы материалы V Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» по следующим научным направлениям:

1. Приборостроение и управление объектами мехатронных и робототехнических систем в ТЭК и ЖКХ.
2. Электроэнергетика, электротехника и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ.
3. Инновационные технологии в ТЭК и ЖКХ.
4. Актуальные вопросы инженерного образования.
5. Промышленная электроника на объектах ЖКХ и промышленности.
6. Светотехника.
7. Энергосберегающие технологии в сфере ЖКХ.
8. Эксплуатация и перспективы развития электроэнергетических систем.
9. Контроль, автоматизация и диагностика электроустановок, электрических станций и подстанций.
10. Теплоснабжение в ЖКХ.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN 978-5-89873-557-9 (т. 1)
ISBN 978-5-89873-556-2

Обработка параметров сигналов ЧР выполняется на компьютере с помощью специально разработанной программы. Она позволяет визуализировать характеристики зависимости величины заряда ЧР от фазового интервала питающего напряжения, а также распределения количества импульсов в зависимости от их интенсивности.

Таким образом, с помощью разработанного комплекса можно выявлять дефектные ВИ, а также определять момент возникновения преддефектного состояния за счет анализа набора характеристик ЧР.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №18-08-00203.

Источники

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования // М.: Наука, 2007. 156 с.

2. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах в процессе эксплуатации / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 10–14.

3. Комплексная бесконтактная диагностика работоспособности высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Дефектоскопия. 2019. № 8. С. 34–40.

4. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов: пат. 2679759 Рос. Федерация № 2018110016; заявл. 21.03.2018; опубл. 12.02.19, Бюл. № 5.

УДК 681.3.07

СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Алина Руслановна Сайфутдинова[1], Данил Александрович Ярославский [2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]sayfutdinova-alinka@mail.ru, [2]fbox52@gmail.com

Современные микропроцессоры и микроконтроллеры имеют все более высокую вычислительную мощность, однако оптимизация программ, особенно разрабатываемых для применения во встраиваемых системах, не потеряла своей актуальности.

Ключевые слова: микроконтроллер, аппроксимация, отображение диапазонов, деление с округлением.

MICROCONTROLLER PROGRAMS OPTIMIZATION

Alina Ruslanovna Sayfutdinova, Danil Alexandrovich Yaroslavsky

Modern microprocessors and microcontrollers have increasingly high computing power, however the optimization of programs, especially those developed for use in embedded systems, has not lost its relevance.

Key words: microcontroller, approximation, range mapping, division with rounding.

В современных приборах автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), используемых в ЖКХ, применяются микроконтроллеры. Для снижения требований, предъявляемых к микроконтроллерам (МК), необходимо оптимизировать программу, выполняемую на контроллере.

Как известно, у высокопроизводительных однотактных 8-мибитных RISC микроконтроллеров отсутствует операция деления. На МК, у которых присутствует операция деления, она выполняется сравнительно медленно, и с этим ничего поделать нельзя. Если стараться избегать операции деления, код будет работать чуть быстрее и потреблять меньше энергии, что позволит выбрать более дешевый МК для прибора и работать от внутреннего источника энергии. Все МК могут быстро делить на степень числа два, это свойство можно использовать для оптимизации программ.

Одно из таких возможных мест оптимизации программы – это работа с периферией микроконтроллера, когда возникает потребность отображения одной переменной, используемой человеком (физическая величина), на переменную устройства ввода – вывода (степени числа 2), и наоборот. Например, отображение диапазона скважности 8-ми битного широтно-импульсного модулятора (ШИМ), управляющего нагревательным прибором на диапазон переменной, изменяемой человеком, 0–100%.

Вещественное решение данной задачи имеет вид $y = \frac{y_{\max}}{x_{\max}} \cdot x$, где $x \to y$.Так как в целых числах задача может быть решена только с определенным приближением, например $y = \frac{y_{\max} \cdot x}{x_{\max}}$, то нет особого смысла стремиться произвести преобразование, соответствующее целочисленному делению с округлением в сторону –∞ 0 или +∞. Достаточно произвести преобразование, удовлетворяющее следующим условиям:

1. $x_{\min} \to y_{\max}$; 2. $x_{\max} \to y_{\max}$; 3. $y_i \le y_{i+1}$.

Самый простой, на наш взгляд, метод на основе умножения на «магическое» число [1]. Будем искать решение в виде $y=\dfrac{mx}{2^p}$, где m – «магическое» число. Числа $p,\, m \in N$.

При данной постановке задачи условия 1 и 3 реализуются автоматически. Остается выполнить условие 2. Заметим, что $x_{\max}$ и $y_{\max}$ могут иметь общие делители.

Запишем $x_{\max}=x_m n$; $y_{\max}=y_m n$, где n – наибольший общий делитель чисел $y_{\max}$ и $x_{\max}$, а x_m и $y_{\max}$, соответственно, взаимопростые.

Тогда, для выполнения условий теоремы D4 [1], для целых чисел n и d $(d \neq 0)$ и действительного x справедливы соотношения:

$$\left\lfloor \frac{n}{d}+x \right\rfloor = \left\lfloor \frac{n}{d} \right\rfloor, \text{ если } 0 \le x < \left|\frac{n}{d}\right|$$

и

$$\left\lceil \frac{n}{d}+x \right\rceil = \left\lceil \frac{n}{d} \right\rceil, \text{ если } -\left|\frac{1}{d}\right| \le x \le 0.$$

Беззнаковое отображение

2. Число m можно выбрать как $m=\left\lceil \dfrac{2^p y_m}{x_m} \right\rceil$ для взаимопростых x_m и y_m. При x_m, не являющимся степенью числа 2, тождество эквивалентно

$$m=\left\lfloor \frac{2^p y_m}{x_m} \right\rfloor + 1. \tag{1}$$

Из условия 2 вытекает следующее уравнение:

$$y_{\max}=\left\lfloor \frac{m x_{\max}}{2^p} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\left(\left\lfloor \frac{2^p y_m}{x_m} \right\rfloor + 1\right) x_m n}{2^p} \right\rfloor =$$

$$=\left\lfloor \frac{n\left(2^p y_m - \operatorname{rem}\left(2^p y_m, x_m\right) + x_m\right)}{2^p} \right\rfloor =_{\max} + \left\lfloor \frac{\left(x_m - \operatorname{rem}\left(2^p y_m, x_m\right)\right) n}{2^p} \right\rfloor . \tag{2}$$

Снова применим теорему D4 и получим неравенство:

$$2^p > n\left(x_m - \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right)\right). \tag{3}$$

Здесь функция $\mathrm{rem}(a,b)$ возвращает остаток от деления чисел a и b, а p – минимальное положительное число, удовлетворяющее неравенству, которое можно искать методом проб и ошибок, начиная с единицы.

Можно заметить, что неравенство (3) гораздо более слабое, по сравнению с методом «магического» числа, для беззнакового деления на константы.

После нахождения p из неравенства (3) находим m из тождества (1). Число m может получиться четным, поэтому разделим m и 2^p на их наибольший общий делитель.

2. Дальнейшее развитие идеи метода может заключаться в поиске решения задачи в виде $y = \left\lfloor \dfrac{mx+k}{2^p} \right\rfloor$, где k – новая «магическая константа» смещения. Введение k дает побочный эффект в виде необходимости удовлетворения условия 1, которое в данном случае примет вид $2^p > k$. Для данного уравнения в качестве m следует выбирать минимально возможное значение

$$m = \left\lfloor \frac{2^p y_m}{x_m} \right\rfloor. \tag{4}$$

Тогда

$$y_{\max} = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \dfrac{2^p y_m}{x_m} \right\rfloor x_{\max} + k}{2^p} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\left(2^p y_m - \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right)\right)\cdot n + k}{2^p} \right\rfloor =$$

$$= y_{\max} + \left\lfloor \frac{k - n\cdot \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right)}{2^p} \right\rfloor. \tag{5}$$

Откуда $2^p > k - n\cdot\mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right) \ge 0$, но условие $2^p > k$ более сильное. Объединяя его с правой частью предыдущего неравенства, получим

$$2^p > k > n\cdot \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right). \tag{6}$$

Нас интересует только минимальное значение k. Заменяем знак «≥» на «=». Решаем неравенство (6), подбирая p, начиная с нуля. Далее вычисляем m. Неравенство (6) в большинстве случаев (при различных $x_{\max}$ и $y_{\max}$) оказывается менее жестким, но данная аппроксимация добавляет дополнительно инструкцию сложения в программу МК и поэтому менее предпочтительна. Использовать ее следует при невозможности использования предыдущей аппроксимации из-за возникающего переполнения.

Некоторые отображения, полученные при помощи наших методов:

1) $y = \dfrac{255x}{100} \approx 327x \big/ 2^7$;

2) $y = \dfrac{100x}{1023} \approx \left(25x + 25\right) \big/ 2^8$;

3) $y = \dfrac{2047x}{100} \approx \left(655x + 4\right) \big/ 2^5$;

4) $y = \dfrac{1023x}{100} \approx 655x \big/ 2^6$.

Знаковое отображение

Рассмотрим переход двух вышеописанных случаев беззнакового отображения на случай знакового отображения. Теперь нужно помнить, что максимально допустимое положительное число $2^{w-1} - 1$, а минимальное отрицательное число -2^{w-1}, в отличие от беззнакового случая, где максимально представимое число 2^{w-1}. Здесь W – разрядность машинного слова.

В 1-м случае знаковый вариант сохраняет неравенство (2) лишь только с тем отличием, что диапазон от $-x_{\max}$ до $x_{\max}$ будет отображаться на диапазоне от $-y_{\max} - 1$ до $y_{\max}$. Это свойство в некоторых случаях может оказаться полезным, так как периферийные устройства работают с дополнительным кодом, диапазон которых -2^{z-1} до 2^{z-1}, где z – разрядность устройства. В случае если требуется отобразить диапазлон $-x_{\max} \ldots x_{\max}$ на $-y_{\max} \ldots y_{\max}$, можно произвести коррекцию, прибавив единицу в случае отрицательного x. Тогда появится побочное явление в случае сжимающего отображения – удвоенная ширина области значения, равная нулю.

Случай 2 можно превратить в знаковый без какой-либо коррекции времени выполнения, только лишь изменяя неравенство (5).

При $k > n \cdot \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right)$ и $2^p > 2k$ получится отображение $-x_{\max} \ldots x_{\max} \to y_{\max} \ldots y_{\max}$, а при $n \cdot \mathrm{rem}\left(2^p y_m, x_m\right) \geq k < 2^p \leq 2k$ – отображение, обратное первому случаю $-x_{\max} - 1 \ldots x_{\max} \to y_{\max} \ldots y_{\max}$.

Описанными двумя методами исчерпывается возможность масштабирования с использованием умножения и деления на степень числа два. Для дальнейшего усовершенствования метода необходимо диапазон значений аргумента разделить на поддиапазоны и в каждом вводить свой член-поправку либо выбирать в качестве знаменателя число, отличное от степени числа два. Данные методы отображения можно использовать не только, как описано выше, но и для приближенного умножения на рациональную дробь.

Отображения, полученные с применением приведенного алгоритма, тестировались на 8-мибитном МК atmega128 и давали увеличение скорости операции деления в среднем до трех раз.

Источники

1. Henry S., Warren Jr. Hacker's Delight [Электронный ресурс]. 2nd ed. URL: https://doc.lagout.org/security/Hackers%20Delight.pdf (дата обращения: 27.05.2019).

2. Hasselström K. Fast Division of Large Integers: a Comparison of Algorithms. 2003. 49 p.

3. Alverson R. Integer Division Using Reciprocals // Proc. of the 10th IEEE Symposium on Computer Arithmetic. 1991. Pp. 186–190.

УДК 621.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Шириев Равиль Рафисович[1], Азат Рустамович Бикхенин[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]shrr@list.ru [2]student_kgeu@mail.ru

В статье предложена модель светотехнической установки для получения представлении о распространении света, источников оптического извлечения, в пространстве и визуализации результатов с помощью Matlab/Simulink.

Ключевые слова: фотометрическое тело, КСС, Arduino, Matlab.