

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Проблема. Потери в сетях электроснабжения анализируются давно, обстоятельно и системно. В полной мере это относится и к потерям из-за реактивных нагрузок [1]. Однако ситуация в бытовом потреблении электроэнергии анализируется в самом общем виде. Требования к компенсаторам реактивной мощности (КРМ) для бытовых нагрузок не сформулированы. Учитывая значительную долю бытового потребления электроэнергии, составляющую 20% от общего [2], задача разработки КРМ маломощных нагрузок является актуальной. Способ решения этой задачи и некоторые требования к устройствам предложены в [3] путём применения аналоговой схемы вычислителя для КРМ.

Устройства ступенчатого регулирования реактивной мощности построены с применением микропроцессорного контроллера [4] и являются сложными и дорогими для массового использования в квартирных и других электрических сетях до 0,4 кВ с нагрузками до 50 кВт.

Задача. Исходя из таких предпосылок, можно сформулировать основные требования к вычислителю КРМ для бытовых нагрузок. Для обеспечения экономической целесообразности применения решающим параметром должна быть стоимость устройства. Стоимость определяется построением электрических схем из простых и надёжных элементов, количество которых в схеме невелико. Такой подход позволит обеспечить и другое важнейшее требование – небольшие габариты, позволяющие встраивать КРМ в квартирные щиты электроснабжения.

Принцип работы. Первым этапом вычисления ёмкости компенсирующих конденсаторов является определение разности фаз напряжения и тока потребляемой электроэнергии.

Задача измерения разности фаз может быть решена многими способами: методом компенсации фазы, методом преобразования интервала времени в напряжение, цифровым методом подсчёта количества импульсов, методом измерения фазы с преобразованием частоты, квадратурным методом измерения фазового сдвига,

синхронным детектированием, методом преобразования Фурье с последующим извлечением фазовой составляющей, использованием связи между амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристиками для минимально – фазовых цепей.

Обоснование метода. Наиболее простые схемы реализуют метод, основанный на преобразовании интервала времени в напряжение [5]. Принцип работы такого фазометра иллюстрируется рис. 1.

В таком фазометре оба входных сигнала V_1 и V_2 с помощью компараторов преобразуются в прямоугольные колебания, обозначенные на рис.1 как V_1' и V_2' . Временной интервал Δt между двумя положительными фронтами этих сигналов измеряется с помощью фазового детектора, в котором формируются импульсы с известной амплитудой V_p и той же длительностью Δt .

На выходе фильтра нижних частот фазового детектора получим среднее значение этих импульсов V_{avg} . Если T – период входных сигналов, то напряжение на выходе фильтра $V_{avg} = V_p \frac{\Delta t}{T}$. Тогда

$$\text{фазовый угол } \Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \text{ составляет } \Delta\varphi = 2\pi \frac{V_{avg}}{V_p}.$$

Источники погрешности. Погрешности, присущие этому методу, обусловлены следующими характеристиками схем, реализующих фазометр. Частотный диапазон метода со стороны низких частот ограничен фильтром низких частот. Ограничение со стороны высоких частот определяется быстродействием логических микросхем. Точность измерения зависит от точности задания напряжения V_p , разности задержек во входных блоках фазового детектора и погрешности, с которой компараторы реагируют на пересечение входными сигналами нуля. Эта погрешность является результатом различия напряжений смещения у компараторов. Момент срабатывания компаратора зависит от скорости изменения входного сигнала.

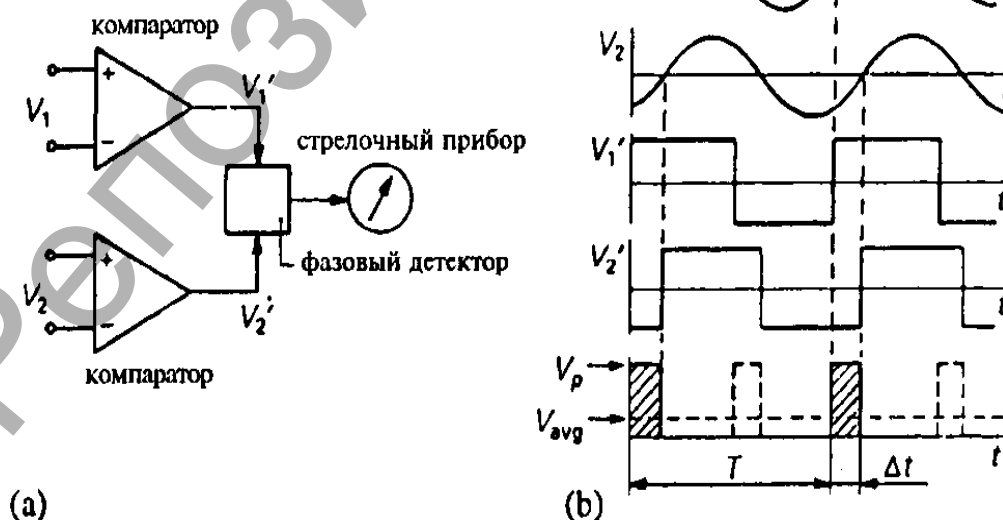


Рис. 1. Блок–схема фазометра с преобразованием временного интервала в напряжение

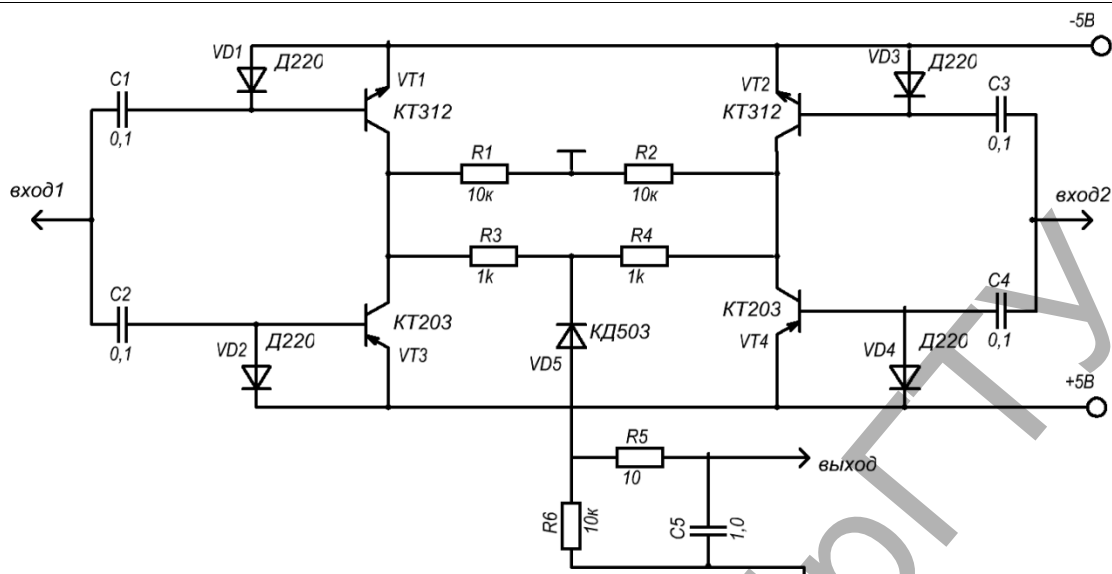


Рис. 2. Фазовый детектор на ограничителях

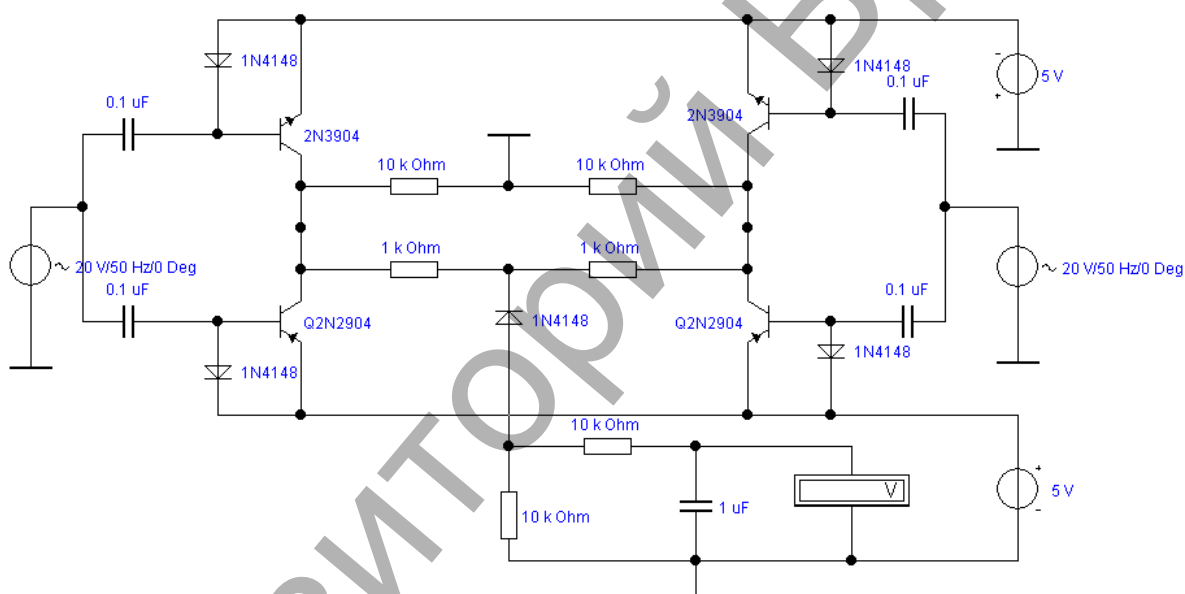


Рис. 3. Модель фазового детектора на ограничителях

В рассмотренном методе фактически измеряется время между моментами пересечения входными сигналами нуля. Форма входного сигнала не будет оказывать существенного влияния на результат измерения.

Схемы практической реализации. Предложено несколько схем реализации фазового детектора с компараторами входных сигналов [5, 6]. Рассмотрим детекторы с наиболее простой схемной реализацией. Самой простой схемой представлен детектор на ограничителях [7], приведённый на рис. 2.

Характеристику выходного напряжения этой схемы получим с помощью модели, построенной с пакетом Electronics Workbench (EWB). Специфика пакета требует замены элементов схемы их зарубежными аналогами. Модель детектора представлена на рис. 3.

Моделирование производилось при различных значениях входного напряжения в диапазоне $\Delta\varphi$ от 0 до 100 угловых градусов. Результаты моделирования представлены в таблице 1 ($U_{вых3}$) и на графике в рис. 8 (ряд 3).

Анализ результатов позволяет отметить два основных недостатка этой схемы. Первый – чувствительность невысокая, составляет около 5м В/град.

Второй – на углах до 30 градусов схема фактически не реагирует на разность фаз, это конструктивный недостаток схемы, не позволяющий применять её в вычислителе КРМ.

Небольшим по количеству элементов является фазометр [8] на компараторах с транзисторными ключами, представленный на рис. 4.

Функции компараторов выполняют операционные усилители К140УД1, ключи – согласователи уровней VT1, VT2 на транзисторах КТ315Б доводят амплитуды прямоугольных импульсов до уровня ТТЛ. В качестве микросхемы DD1 с функцией 4 – 2И-НЕ используется К155ЛА3, в качестве диодов VD1 – VD4 используются КД521А.

Модель фазового детектора с заменой элементов зарубежными аналогами представлена на рис. 5.

Результаты моделирования представлены в таблице 1 ($U_{вых2}$) и на графике в рис. 8 (ряд 2). По сравнению с предыдущей схемой чувствительность прибора значительно выше и составляет около 25м В/град. График представляет прямо пропорциональную практически линейную зависимость.

Несколько меньшее число элементов требуется для реализации схемы фазометра [8] на компараторах с D – триггером (рис. 6).

Функции компараторов выполняют операционные усилители К544СА3.

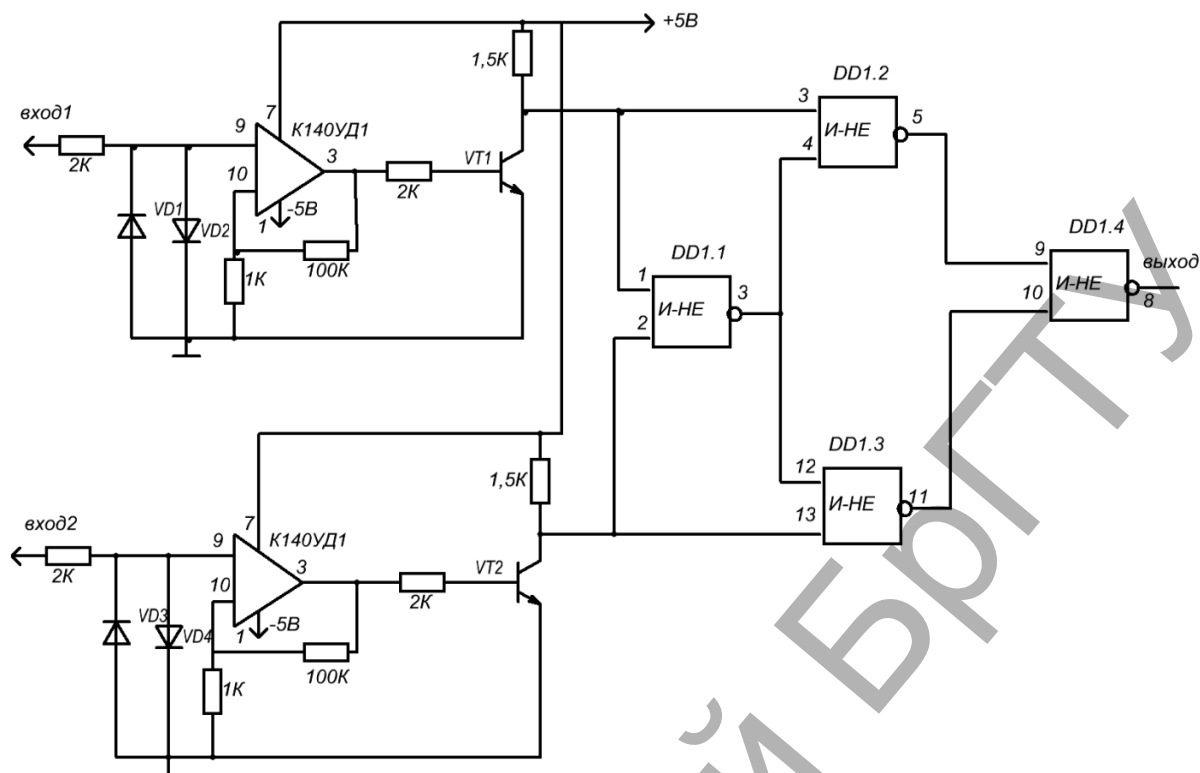


Рис. 4. Фазометр на компараторах с транзисторными ключами

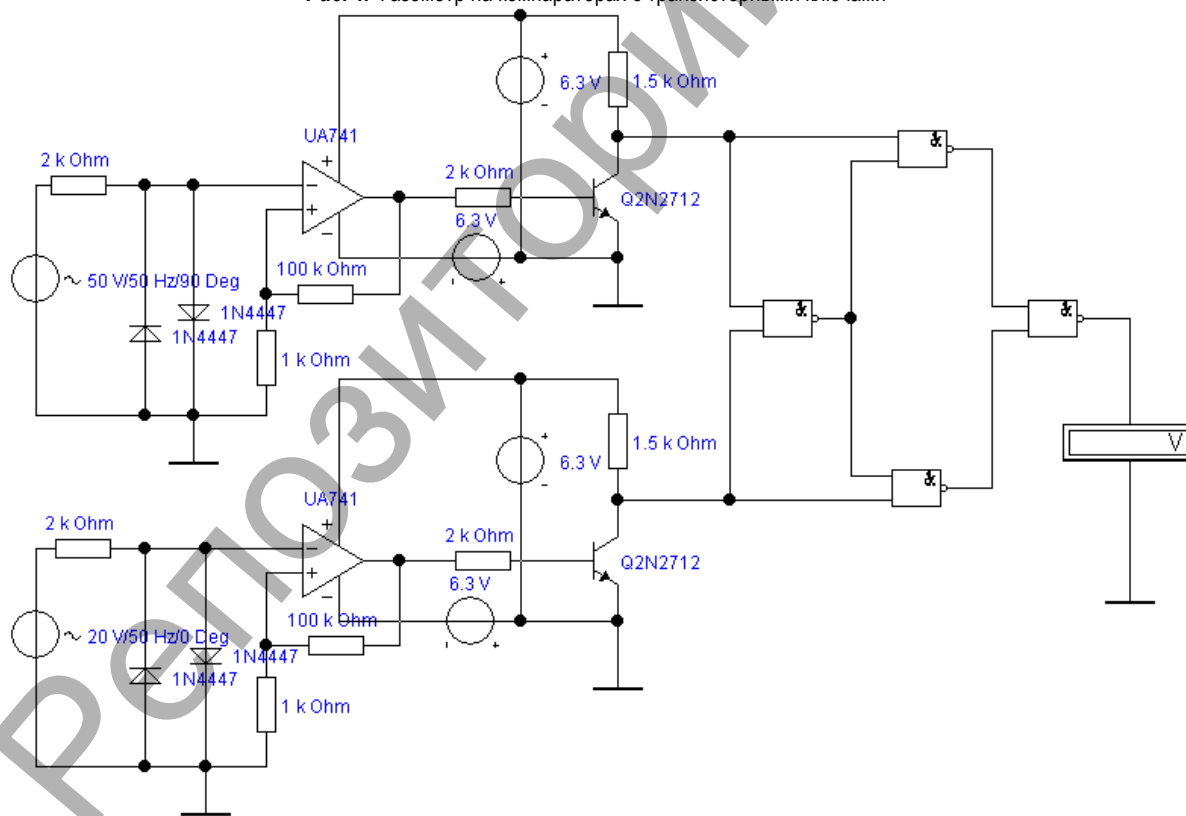


Рис. 5. Модель фазового детектора с транзисторными ключами

В качестве микросхемы DD2 с функцией 3 – И-НЕ используется K155ЛА4, DD1 – триггер DD1 представлен микросхемой K155ТМ2, в качестве диодов VD1 – VD4 используются КД202Д.

Модель фазового детектора с заменой элементов зарубежными аналогами представлена на рис. 7.

Результаты моделирования представлены в таблице 1 ($U_{вых1}$) и на графике в рис. 8 (ряд 1). По сравнению с предыдущей схемой чувствительность прибора ниже и составляет около 15м В/град. График представляет обратно пропорциональную практически линейную зависимость.

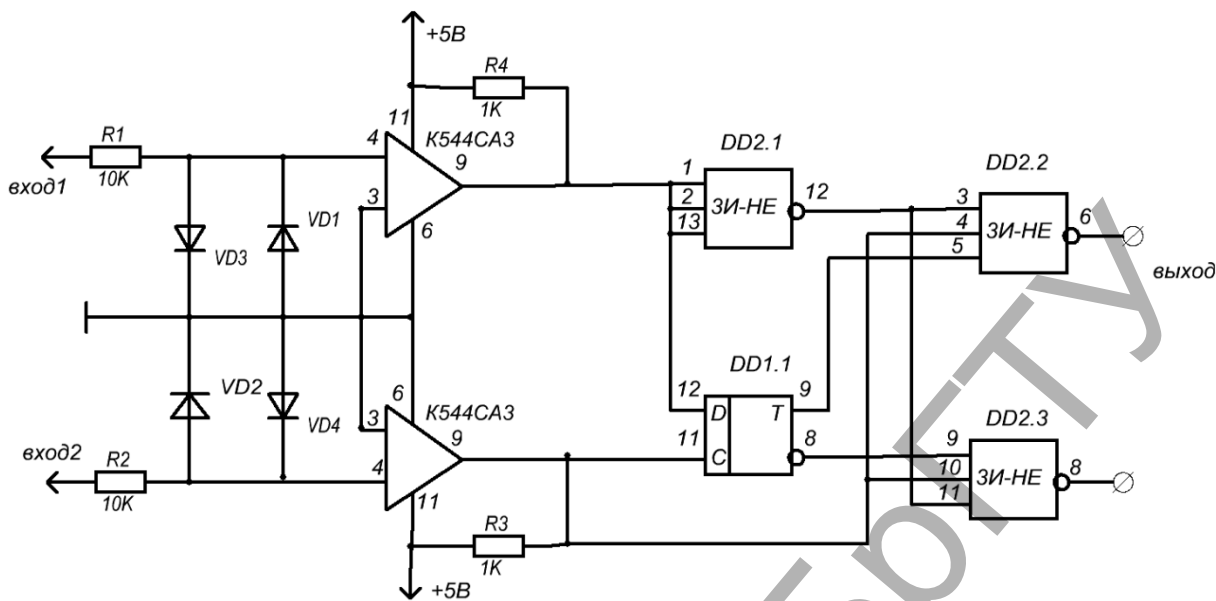


Рис. 6. Фазометр на компараторах с D-триггером

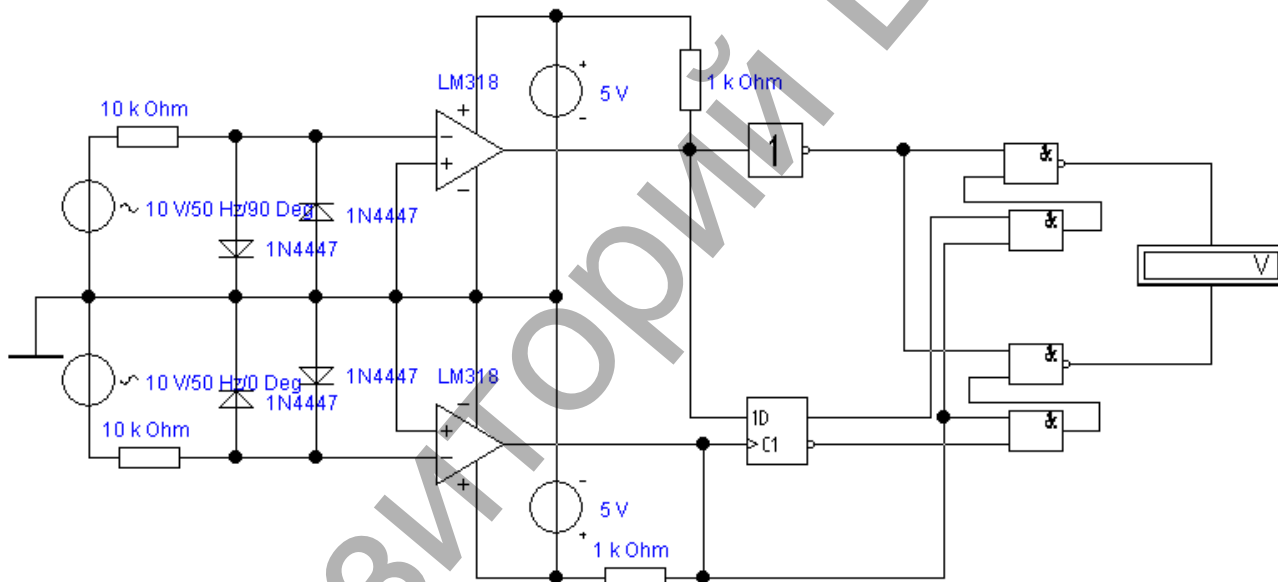


Рис. 7. Модель фазометра на компараторах с D-триггером

Таблица 1. Результаты моделирования фазовых детекторов

$\Delta\phi$, град	$U_{\text{вых1}}$, В	$U_{\text{вых2}}$, В	$U_{\text{вых3}}$, В
0	0	0	-1,89
1	-0,012	0,02	-1,9
2	-0,02	0,04	-1,9
5	-0,06	0,14	-1,92
8	-0,1	0,22	-1,94
10	-0,12	0,25	-1,95
20	-0,2	0,52	-1,98
40	-0,52	1,1	-1,94
60	-0,83	1,6	-1,71
80	-1,1	2,25	-1,55
90	-1,25	2,5	-1,45
100	-1,4	2,63	-1,33

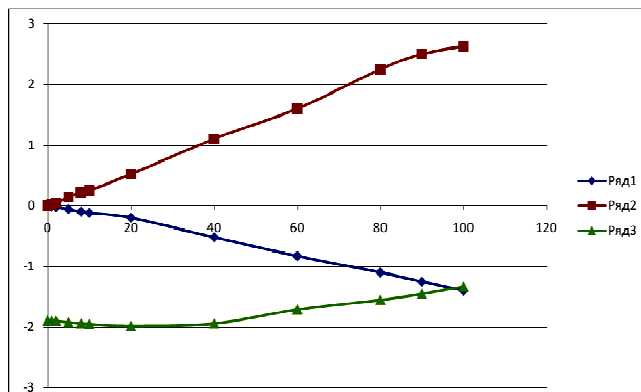


Рис. 8. Графики зависимости напряжения на выходе от разности фаз входных сигналов по результатам моделирования фазовых детекторов

Заключение. Анализ результатов моделирования позволяет выделить схему фазометра на компараторах с транзисторными ключами. Эта схема имеет максимальную чувствительность и линейную прямо пропорциональную зависимость выходного напряжения от разности фаз входных сигналов. Такой сигнал на выходе схемы может использоваться для управления ключами коммутации конденсаторных батарей с минимальной корректировкой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Железко, Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
2. Сульжиц, А. Тарифные системы на электрическую энергию для населения / А. Сульжиц, А. Сульжиц // Энергетика и ТЭК. – № 12(69). – 2008. – Режим доступа: <http://www.energetika.by/arch>.

3. Ярошевич, А.В. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях // Вестник Брестского государственного технического университета – № 5(71): Физика, математика, информатика. – Брест: БрГТУ, 2011. – С. 66–67.
4. Режим доступа: www.ensytech.com.
5. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – Москва: Постмаркет, 2000. – 352 с.
6. Бутев, В. Электронный фазометр // Радио – 1990. – № 5. – С. 56.
7. Горшков, Б.И. Радиоэлектронные устройства: справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 400 с.
8. Гончаренко, А. Фазометр на микросхемах // Радио. – 1984. – № 12 – С. 29.

Материал поступил в редакцию 28.06.13

YARASHEVICH A.V. Modeling of phase detector for reactive power regulator

The task of developing a compensator of reactive power for residential consumers of electricity is solved by application of the analog circuit of the transmitter. The first stage of calculation capacity balancing capacitors is to determine the phase difference of voltage and current consumption. Circuit implementation phase detector most simple method based on transforming an interval of time in voltage. Consider three schemes of detectors:

- phase detector on limiters;
- phase meter on comparators with transistor keys;
- phase meter on comparators with *D* – trigger.

Circuit simulation with service *Electronics Workbench* was made at various values of input voltage in the range $\Delta\phi$ from 0 to 100 angular degrees. Analysis of results of modeling allowed us to highlight the scheme of *phase meter on comparators with transistor keys*. This scheme has a maximum sensitivity and linear directly proportionate the dependence of the output voltage from the phase difference of the input signals.

УДК 004.853

Дёмин В.В., Кабыш А.С., Головки В.А., Stetter R.

АЛГОРИТМЫ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОКОЛЕСНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РОБОТАМИ

Введение. Эффективное управление мобильным роботом на производстве позволяет экономить множество ресурсов: время автономной работы, возможность перевозки более тяжелых грузов на более длинные расстояния, маневренность при перевозке габаритных грузов в ограниченном пространстве, прокладывание оптимальной траектории. Важными задачами являются **оптимизация энергопотребления и оптимальное планирование траектории**. Задача энергосбережения в общем случае должна обеспечиваться подсистемами управления. Например, проблема энергопотребления моторов решается при их проектировании [1]. Подсистема управления не сможет влиять на КПД моторов, но должна обладать стратегией эффективного управления (оптимальная скорость мотора, оптимальный разгон, плавная функция торможения).

Оптимальное планирование траектории, как правило, реализуется на уровне подсистемы планирования [2]. Такая подсистема строит траекторию до цели и разбивает ее на части, которые могут быть представлены в виде кривых определенного радиуса и прямолинейных промежутков. Система управления роботом позволяет передвигаться (по возможности без остановок) по этой траектории, затрачивая как можно меньше энергии батарей.

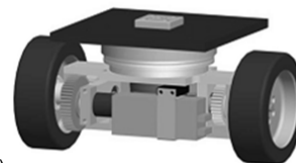
Ключевым вкладом этой статьи является предложенная модель координации колесных модулей на основе виртуального лидера и обучения с подкреплением для эффективного управления многоколесным роботом. По сравнению с аналогичными подходами кругового движения [3], предложенный позволяет повысить эффективность потребления энергии роботом. Представленная модель решает проблему кругового движения платформы относительно центра разворота, даже если он динамически меняет свое положение. Подход требует лишь информации о положении агентов относительно центра платформы.

Многоколесная производственная платформа. Задача перевозки тяжелых грузов до сих пор остается актуальной на современных производствах. Для перевозки больших грузов все чаще приме-

няются автономные мобильные грузовые платформы. Одна из таких платформ – производственный грузовой робот, разработанный в лаборатории университета Равенсбург-Вайнгартена [4]. Фотография робота представлена на рис. 1а. Основные характеристики платформы: размер платформы 1200 см на 800 см, максимальная грузоподъемность 500 кг при комплектации 4-мя модулями, ёмкость аккумуляторов 52Ah, минимальная скорость 1 м/с, независимое управление каждым модулем.



а)



б)

Рис. 1. а) производственная грузовая мобильная платформа; б) инновационный модуль

Платформа построена на базе инновационных модулей [4]. Такой модуль (рис. 1б) состоит из двух колес, приводимых в движение двумя независимыми моторами, и имеет дифференциальную схему управления. К платформе такие модули подсоединены подшипником (рис. 2), что позволяет им поворачиваться относительно платформы на любой угол.