

# АЛГОРИТМ ПОИСКА ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПИ- РЕГУЛЯТОРОМ В СОЛНЕЧНОМ ИНВЕРТОРЕ

Р.К. Диксон\*, В.А. Русскин\*\*, С.М. Семёнов\*\*

\* – Ямайка, Кингстон,

\*\* – Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, Томск

Для расширения диапазона работы солнечного инвертора в качестве промежуточного звена между солнечной батареей (СБ) и автономным инвертором напряжения (АИН) используется преобразователь постоянного напряжения (рис. 1), который так же может производить отслеживание точки максимальной мощности (maximum power point tracking – MPPT). В качестве такого преобразователя энергии солнечных батарей (ПЭСБ) могут выступать понижающий, повышающий, инвертирующий преобразователи или преобразователь, выполненный по схеме Кука. Подобные схемы обеспечивают высокий КПД за счёт снижения количества силовых элементов, при этом массо-габаритные показатели фильтра минимизируются высокими частотами преобразования [1]. Одним из основных способов повышения энергетической эффективности фотоэлектрических установок является реализация режима отбора максимума мощности в соответствующей точке вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи (рис. 2) [4].

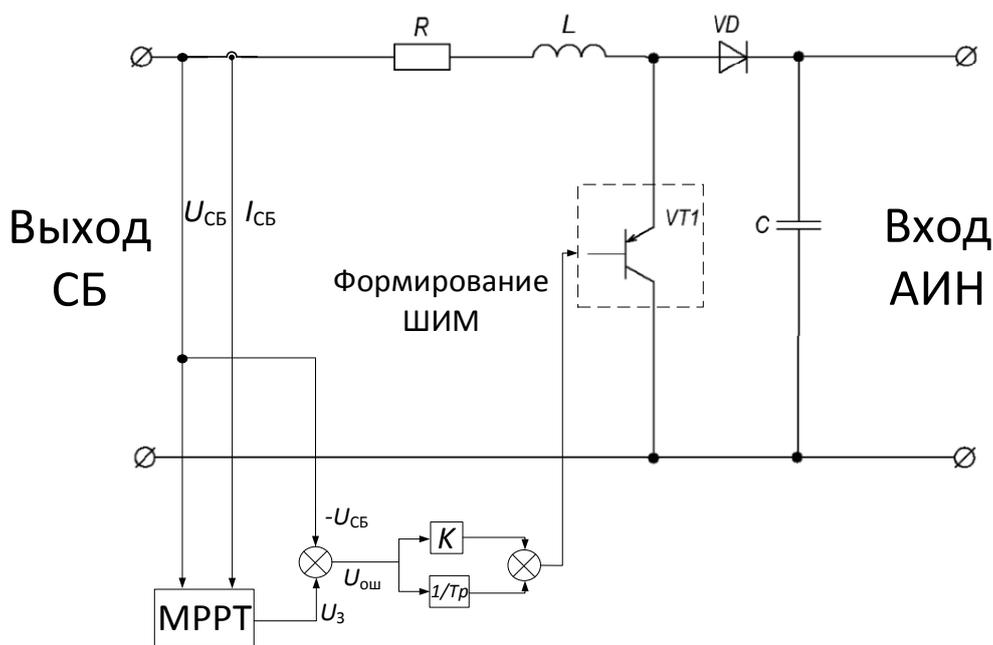


Рис. 1. Структура преобразователя энергии солнечных батарей

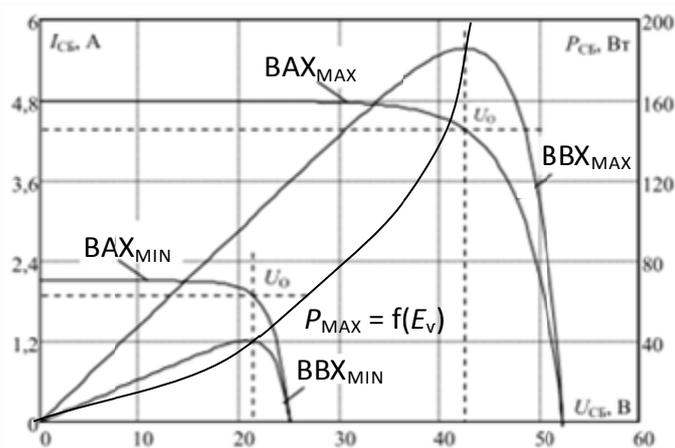


Рис. 2. Характеристики СБ на примере фотоэлектрической панели КСМ-160

Типовые схемы преобразователей энергии солнечных батарей приведены на рис. 3. Самым распространённым вариантом является понижающий преобразователь (рис. 3, а). Преимуществом этой схемы является стабильный ток заряда аккумулятора, обеспечиваемый большой выходной индуктивностью, однако прерывистое импульсное потребление входного тока требует установки громоздкого С-фильтра [2].

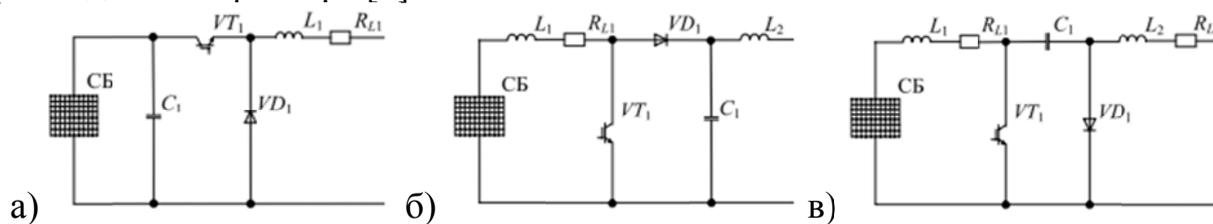


Рис. 3. Типовые схемы ПЭСБ: а) понижающий; б) повышающий; в) преобразователь Кука

Повышающий преобразователь (рис. 3, б) имеет на выходе дроссель, обеспечивающий непрерывность входного тока и стабильность рабочей точки ВАХ по току. Однако его характеристика показывает увеличение напряжения на всем диапазоне регулирования. Это приводит к необходимости использования байпаса для предотвращения превышения напряжения на выходе.

Для успешного регулирования точки ВАХ с максимальной мощностью при любом соотношении напряжений на СБ и выходе можно использовать преобразователь Кука, имеющего входной каскад на основе повышающего, а выходной на основе понижающего преобразователей (рис. 3, в) [1].

Для оптимизации выходной мощности фотомодулей, как правило, используется один из трёх алгоритмов. В некоторых устройствах для отслеживания точки максимальной мощности реализуют несколько алгоритмов, и переключения между ними осуществляются в зависимости от условий работы. Основными методами алгоритмизации МРРТ являются:

возмущения и наблюдения (его блок-схема приведена на рис. 4), а так же методы возрастающей проводимости и постоянного напряжения [3].

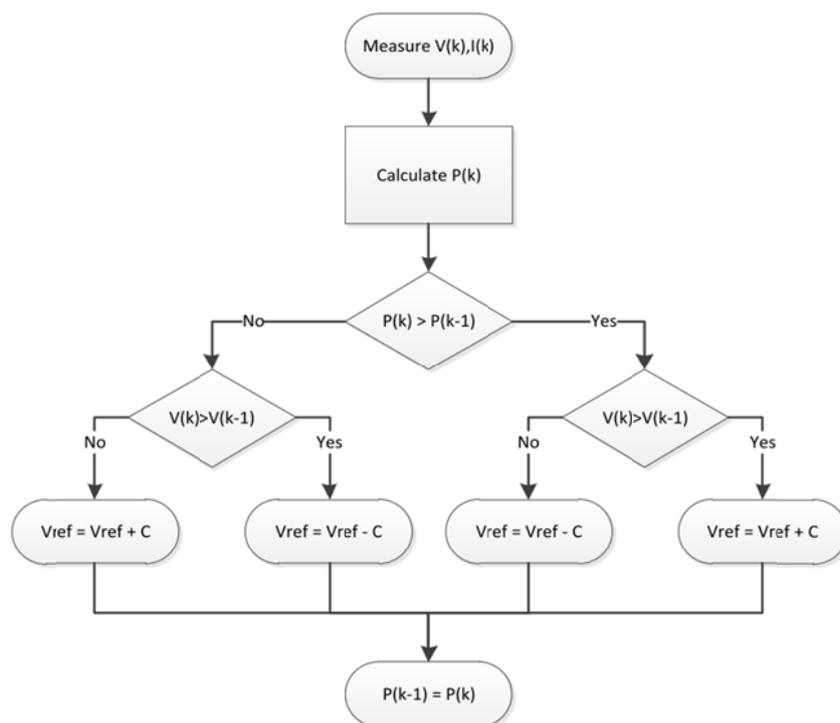


Рис. 4. Блок-схема алгоритма отслеживания точки максимальной мощности

При использовании метода возмущения и наблюдения устройство на небольшую величину изменяет входное сопротивление (путём варьирования скважности силового ключа или задания на входные напряжение, ток или мощность), вследствие чего изменяется напряжение на СБ и далее производятся измерения её выходных параметров. Если мощность увеличивается – контроллер продолжает изменять задающий параметр в этом же направлении, пока мощность не перестанет увеличиваться. Данный метод является наиболее распространённым, несмотря на то, что он приводит к колебаниям мощности. Распространённость этого метода обусловлена его простотой и может быть реализована по типу функциональной схемы системы управления ППН, приведенной на рис. 5 [5].

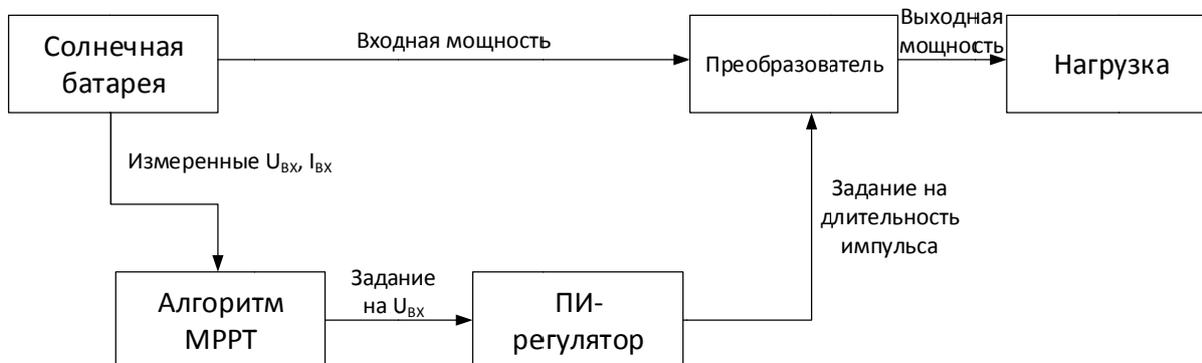


Рис. 5. Функциональная схема системы управления ППН

### Экспериментальные исследования.

Для получения нелинейной ВАХ использовался лабораторный источник питания, результаты экспериментов приведены на рис. 6,а. Вариант последовательного ( $R_{\text{посл}}$ ) и параллельного ( $R_{\text{пар}}$ ) подключения сопротивлений к источнику (рис. 6,б) позволил получить вольт-амперные и  $P = f(I)$  характеристики, изображённые на рис. 7,а и б.

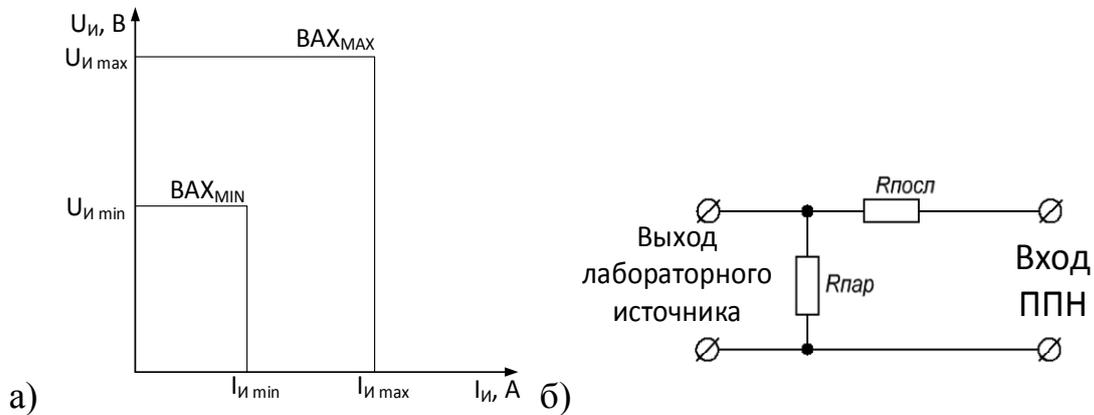


Рис. 6. Схема подключения сопротивлений

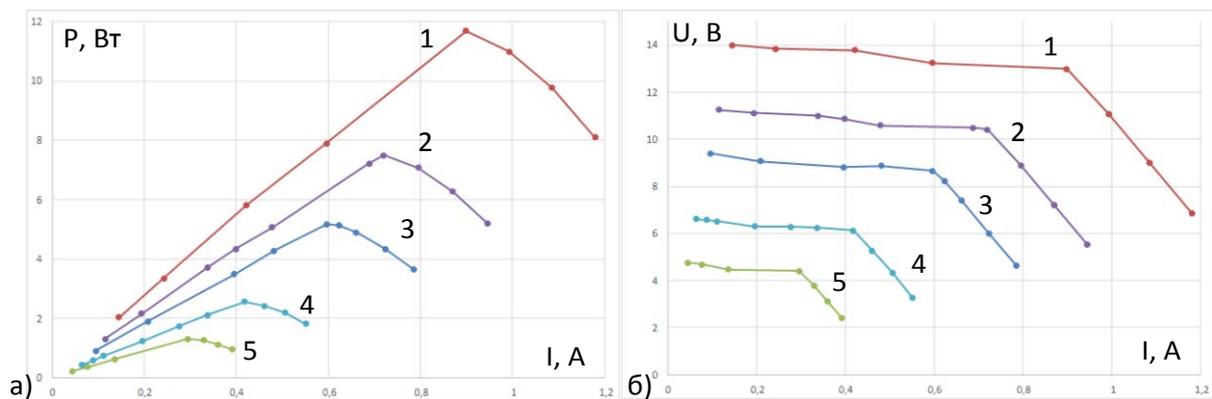


Рис. 7. Семейство характеристик нелинейного источника питания: а)  $P = f(I)$ ; б)  $U = f(I)$

В табл. 1 приведены значения входных токов и напряжений, соответствующих точкам максимальной мощности для каждой ВАХ.

Таблица 1.

№ характеристики	$I_{\text{МАХ}}, \text{ А}$	$U_{\text{МАХ}}, \text{ В}$	$P_{\text{МАХ1}}, \text{ Вт}$
1	0,9	13	11,687
2	0,72	10,41	7,49
3	0,6	8,66	5,17
4	0,42	6,12	2,55
5	0,3	4,4	1,24

В рассматриваемом алгоритме возмущение реализуется через изменение задания на входное напряжение преобразователя, которое обрабатывается ПИ-регулятором. Реакция системы на изменение управляющего воздействия приведена на рис. 8.

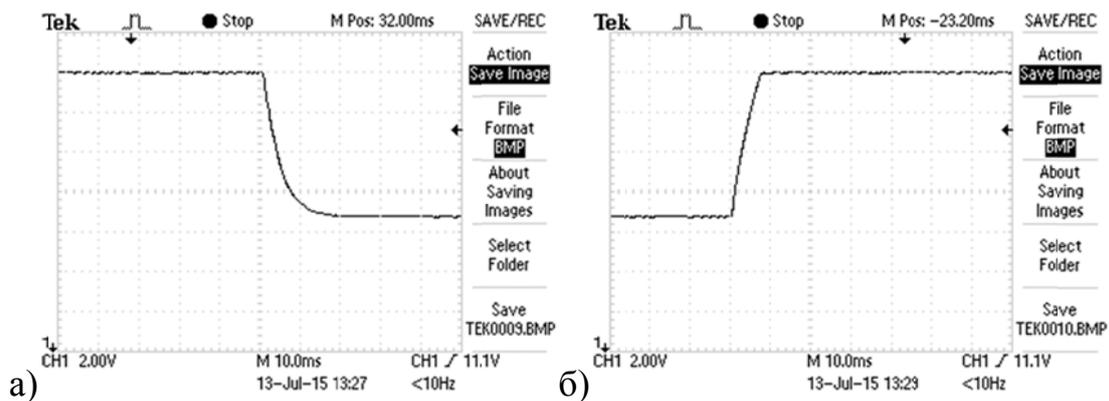


Рис. 8. Реакция системы на уменьшение (а) и увеличение (б) задания на входное напряжение

Частота вызова алгоритма МРРТ выбиралась исходя из динамических свойств замкнутой системы управления. Из осциллограмм видно, что время переходного процесса входного напряжения равняется 10мс. В соответствии с этим выбираем частоту вызова алгоритма МРРТ не выше 100Гц [5–7].

На рис. 9 приведена осциллограмма работы алгоритма при запуске и переходе между характеристиками источника питания.

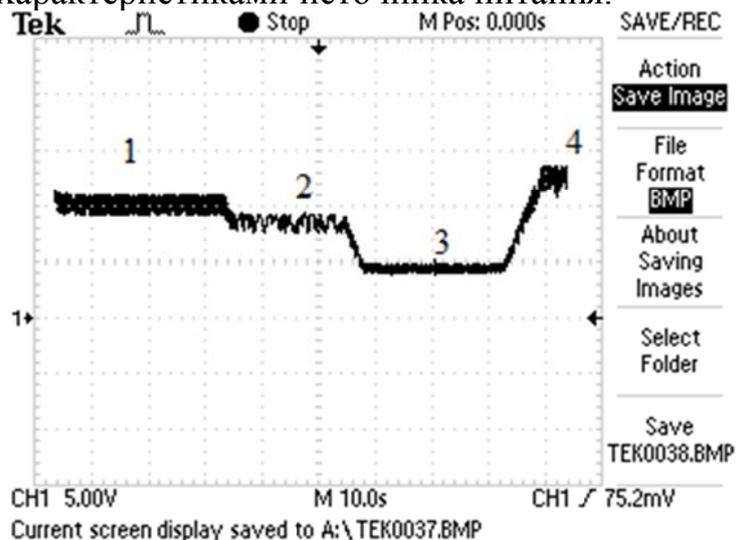


Рис. 9. Осциллограмма работы алгоритма

На данном рисунке обозначениям 1, 2, 3 и 4 соответствует работа ППН на характеристиках 12V 1,2A, 10V 1A, 5V 0,5A и 15V 1,5A.

Проведен расчёт эффективности на каждой рабочей точке. В качестве примера для точки 1:

$$P_{MAX1} = U_{MAX} \cdot I_{MAX} = 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ Вт}; P_{MAX2} = U_2 \cdot I_2 = 11,34 \cdot 1,2 = 13,608 \text{ Вт}.$$

Рассчитаем эффективность как  $(P_{MAX2} / P_{MAX1}) \cdot 100\% = (13,608 / 14,4) \cdot 100 = 94,5\%$ . Где  $I_{MAX}$ ,  $U_{MAX}$ ,  $P_{MAX1}$  – максимальные значения тока, напряжения и мощности для каждой ВАХ источника;  $I_2$ ,  $U_2$  и  $P_{MAX2}$  – установившиеся в результате работы алгоритма значения тока, напряжения и мощности на выходе источника.

Результаты расчетов для первой и остальных точек приведены в табл. 2.

Номер рабочей точки	Эффективность, %
1	94,5
2	93,4
3	95,2
4	95,73

Потери мощности связаны в первую очередь с колебаниями задания на входное напряжение (рис. 10, а). Их можно избежать, если использовать адаптивный алгоритм изменения шага возмущения по мере приближения к отслеживаемой точке (рис. 10, б). При испытании адаптивного алгоритма эффективность составила 98–99% [8,9].

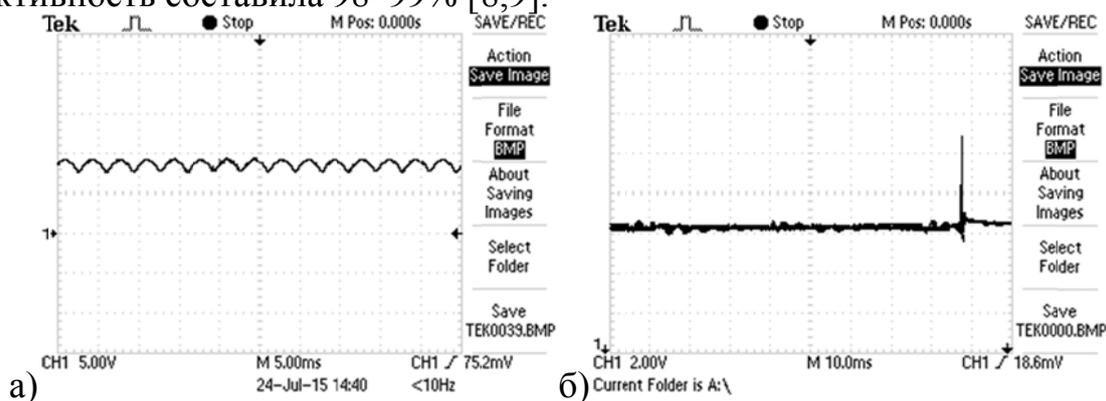


Рис. 10. Колебания входного напряжения источника при работе: а) неадаптивного алгоритма; б) адаптивного алгоритма

## Выводы

- Достигнутая эффективность при работе неадаптивного (93,4–95% на различных рабочих точках) алгоритма возмущения и наблюдения удовлетворяет теоретическим и экспериментальным данным отечественных и зарубежных исследователей [1, 5–10].

- Для увеличения точности (до 99%) отслеживания точки максимальной мощности может быть реализован алгоритм изменения шага возмущения при отыскании максимума мощности;

- Метод возмущения и наблюдения является наилучшим, поскольку наименее требователен к ресурсам микроконтроллера и, при реализации адаптивного алгоритма, обеспечивает высокий уровень точности.

Полученные результаты предполагается использовать в ПЭСБ альтернативной энергетики для повышения КПД автономных и сетевых инверторов солнечных батарей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов А.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Отто А.И., Черная М.М. Сопоставительный анализ энергетической эффективности преобразования энергии солнечной батареи преобразователями постоянного напряжения, Доклады ТУСУРа, №1 (27), март 2013, стр. 14.

2. Кобзев А.В., Коновалов Б.И., Семенов В.Д. Энергетическая электроника. Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 164 с.
3. A. PradeepKumarYadav, S. Thirumaliah, G. Haritha Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC converters based PV syysems. International journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering, Vol 1, July 2012.
4. Характеристики фотоэлектрического модуля КСМ-160. ОАО НПФ «Квант».
5. StefanMoring, AntonPols. Maximum Power Point Tracking: Algorithm and Software Development. Delft University of Technology, 27 June, 2012.
6. Ting-Chung Yu, Yu-Cheng Lin. A study on maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems. Lunghwa University of Science and Technology, 2012.
7. SauravStapathy. Photovoltaic power control using MPPT and boost converter. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Technology in Electrical engineering. National Institute of Technology, Rourkela, 2012.
8. DivyaTeja Reddy Challa, I. Raghavendar. Implementation of Incremental Conductance MPPT with Direct Control Method Using Cuk Converter. International Journal of modern engineering research. Vol 2, issue 6, pp-4491-4496, 2012.
9. Dezso Sera, TamasKerekes, Remus Teodorescu, FredeBlaabjerg. Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions.
10. SamerAlsadi, BasimAlsayid. Maximum power point tracking simulation for photovoltaic systems using perturb and observe algorithm. International journal of engineering and innovative technology, vol 2, issue 6, 2012.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДАЛЬНОГО И ПОДЧИНЕННОГО УПРАВЛЕНИЙ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

*М. Ф. Коротков, А. Н. Пахомов*

Сибирский Федеральный университет, Россия, Красноярск

Теория систем векторного подчиненного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода разработана достаточно полно [1, 2]. Однако вопросы синтеза модальных регуляторов рассматриваются, как правило, для электроприводов постоянного тока. В работе проведен сравнительный анализ систем модального и подчиненного управлений асинхронным электроприводом. В литературе [3] отражены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие достоверность результатов математического моделирования систем подчиненного управления асинхронным электроприводом. Основываясь на этом, при моделировании системы с модальным регулятором в работе в качестве базовой используется