

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ОТРАБОТКИ ИЗМЕНЕНИЯ СИГНАЛА ЗАДАНИЯ В РЕЖИМЕ ЗАМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ

А. В. Бубнов, А. Н. Четверик, А. Н. Чудинов В. И. Шпинаева
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Электропривод с фазовой синхронизацией находит широкое применение при построении узла оптико-механической развертки тепловизионных и лазерных сканирующих систем. Целью статьи является улучшение динамических показателей электропривода путем разработки способа регулирования ЭПФС, реализованного на основе БЗЧ с дополнительным контуром регулирования и ИЧФД с расширенной линейной зоной в режиме фазового сравнения входных импульсных сигналов логического устройства сравнения. Для улучшения динамических показателей электропривода в области высоких частот вращения предложены технические решения по построению ЭПФС с использованием улучшенных алгоритмов работы блока задания частоты и логического устройства сравнения.

Ключевые слова: блок задания частоты, импульсный частотно-фазовый дискриминатор, логическое устройство сравнения, электропривод с фазовой синхронизацией.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-65-69

I. ВВЕДЕНИЕ

В тепловизионных и лазерных сканирующих системах при построении узла оптико-механической развертки используется стабилизированный электропривод, к которому предъявляются высокие требования к показателям качества функционирования. Электропривод с фазовой синхронизацией (ЭПФС), построенный на основе принципа фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [1], позволяет обеспечить высокие точностные и динамические показатели в широком диапазоне регулирования угловой скорости, превосходящие показатели цифровых и аналоговых систем автоматического управления (САУ).

В электроприводе, построенном на основе принципа ФАПЧ, в качестве сигнала задания угловой скорости используется частотный сигнал $f_{оп}$, формируемый с помощью прецизионного генератора, в блоке задания частоты (БЗЧ); в качестве сигнала обратной связи – частотный сигнал $f_{ос}$, формируемый на выходе импульсного датчика частоты (ИДЧ) вращения; а в качестве сравнивающего элемента – логическое устройство сравнения (ЛУС) частот и фаз входных частотных сигналов, формирующее выходной сигнал γ . (рис. 1, где КУ – корректирующее устройство, СП – силовой преобразователь, ЭД – электродвигатель, N – код задания опорной частоты). В качестве ЛУС широкое использование находит импульсный частотно-фазовый дискриминатор (ИЧФД).

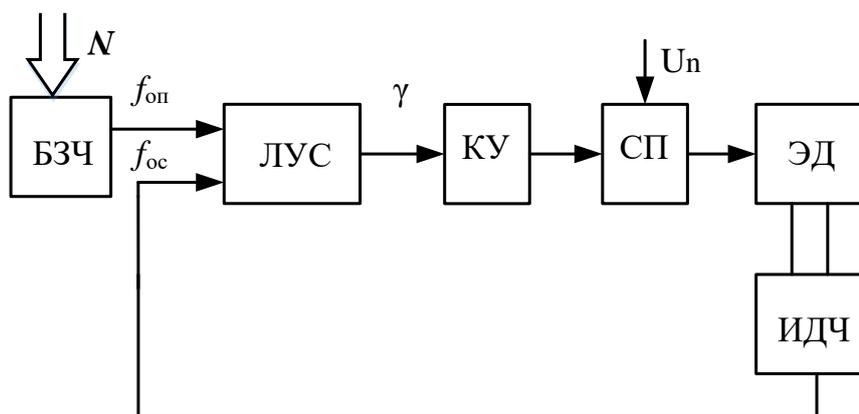


Рис. 1. Функциональная схема ЭПФС

Основным недостатком представленной функциональной схемы является наличие перерегулирования по угловой скорости в режимах синхронизации ЭПФС, обусловленного свойством систем, построенного на основе принципа ФАПЧ. Для уменьшения величины перерегулирования широко используется система управления с организацией опережающей разблокировки ЛУС по сигналу U_{II} (рис. 2), формируемому с помощью дополнительного частотного дискриминатора (ЧД) и одновибратора (ОВ) [2].

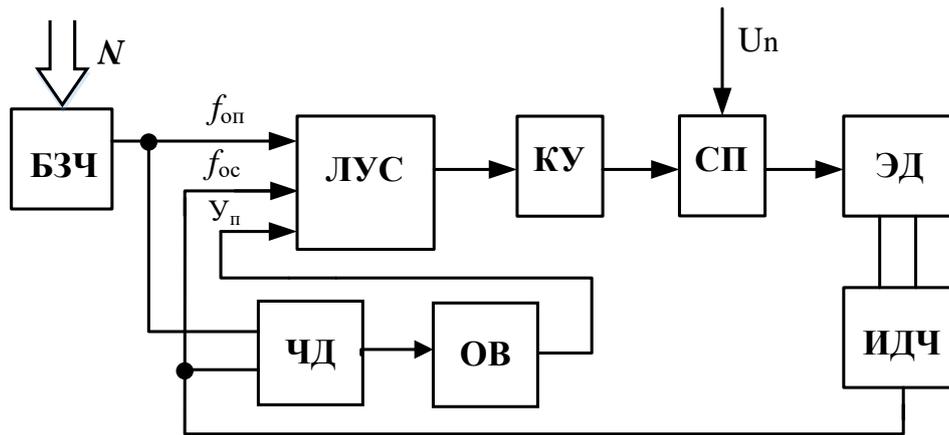


Рис. 2. Функциональная схема электропривода с фазовой синхронизацией с опережающей разблокировкой логического устройства сравнения

Способ регулирования ЭПФС с опережающей разблокировкой ЛУС поясняется фазовым портретом работы электропривода, представленным на рис. 3. Для большей наглядности и удобства сравнения способов на рисунке приведены две фазовые траектории:

- траектория, обозначенная цифрами 1-2-3-4-5, соответствует работе ЭПФС с обычным алгоритмом работы ИЧФД (рис. 1),
- траектория, обозначенная цифрами 1'-2'-3'-4', соответствует работе ЭПФС с опережающей разблокировкой ИЧФД (рис. 3).

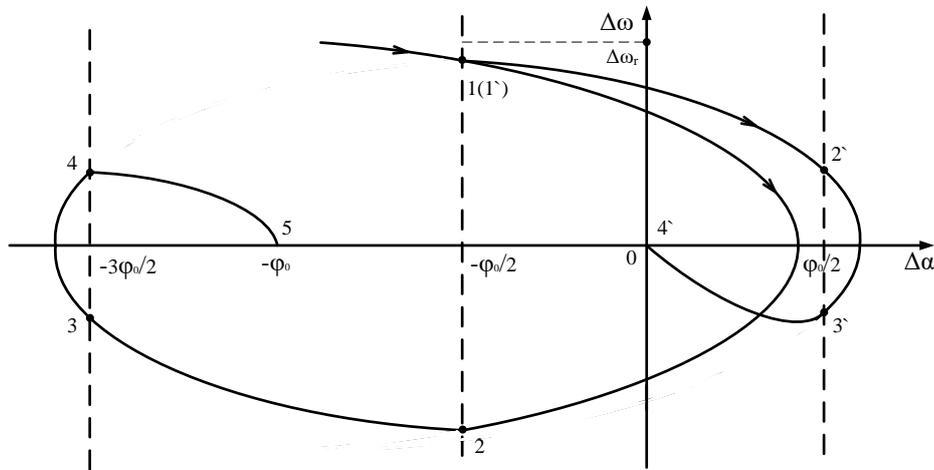


Рис. 3. Фазовый портрет работы электропривода с опережающей разблокировкой ИЧФД

Движение изображающей точки на фазовом портрете до точки 1 на линии переключения происходит в режиме разгона ЭПФС. Далее при обычном алгоритме работы ИЧФД режим разгона продолжается до изменения знака ошибки по угловой скорости и пересечения линии переключения в точке 2. Участок траектории 2-3 соответствует переходу ИЧФД в режим фазового сравнения (режим замкнутого управления). Точка 3 на линии переключения соответствует ситуации взаимного расположения импульсов 2/2, в результате ЭПФС переходит в режим торможения (участок фазовой траектории 3-4). Точка 4 на линии переключения соответствует ситуации взаимного расположения импульсов 0/2, в результате ИЧФД переходит в режим фазового сравнения, а ЭПФС – в режим синхронизации (участок фазовой траектории 4-5).

В случае использования способа управления ЭПФС с опережающей разблокировкой ЛУС в точке 1' ИЧФД по сигналу U_n с ЧФ принудительно переводится в режим фазового сравнения, а электропривод переходит в режим замкнутого управления (участок фазовой траектории 1'-2'). Точка 2' на линии переключения соответствует ситуации взаимного расположения импульсов 0/2, в результате ЭПФС переходит в режим разгона

(участок фазовой траектории 2'-3'). Точка 3' на линии переключения соответствует ситуации взаимного расположения импульсов 2/2, в результате ИЧФД переходит в режим фазового сравнения, а ЭПФС – в режим синхронизации (участок фазовой траектории 3'-4').

Сравнение фазовых траекторий, приведенных на рис. 3, позволяет оценить сокращение времени переходного процесса синхронизации ЭПФС при использовании способа управления ЭПФС с опережающей разблокировкой ЛУС. Выигрыш по времени определяется участком фазовой траектории 1-2 работы ЭПФС при обычном алгоритме работы ЛУС и составляет

$$0 < t_3 \leq 4\varphi_0 / \Delta\omega_r ,$$

где $\varphi_0 = 2\pi/z$ – угловое расстояние между метками ИДЧ, z – количество меток ИДЧ, $\Delta\omega_r = \sqrt{2\varphi_0\varepsilon_m}$ – максимальное значение ошибки по угловой скорости при переходе электропривода в режим синхронизации, ε_m – максимальное ускорение электропривода в режимах насыщения ЛУС.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является улучшение динамических показателей электропривода путем разработки способа регулирования ЭПФС, реализованного на основе БЗЧ с дополнительным контуром регулирования и ИЧФД с расширенной линейной зоной в режиме фазового сравнения входных импульсных сигналов ЛУС.

III. ТЕОРИЯ

В обзорно-поисковых системах, реализующих метод бескадрового непрерывно-построчного сканирования и расположенных на автономных объектах, существует необходимость дискретного изменения сигнала задания $f_{оп}$ при изменении условий сканирования [3]. В области малых значений N изменение кода задания на 1 приводит к переходу ИЧФД в режим насыщения, в результате электропривод переходит в режим разомкнутого управления. После отработки изменения сигнала задания требуется повторная синхронизация ЭПФС, что снижает быстродействие электропривода и приводит к потере информации в переходных режимах работы сканирующей системы. Для устранения данного недостатка предлагается алгоритм работы и техническая реализация БЗЧ с более плавным изменением кода задания N путем чередующегося изменения кодов N и $N-1$ при увеличении сигнала $f_{оп}$ и кодов N и $N+1$ при уменьшении сигнала $f_{оп}$. Функциональная схема электропривода с предлагаемой реализацией БЗЧ [4] приведена на рис. 4, где ПК – преобразователь кода, ДЧ – делитель частоты, Г – генератор.

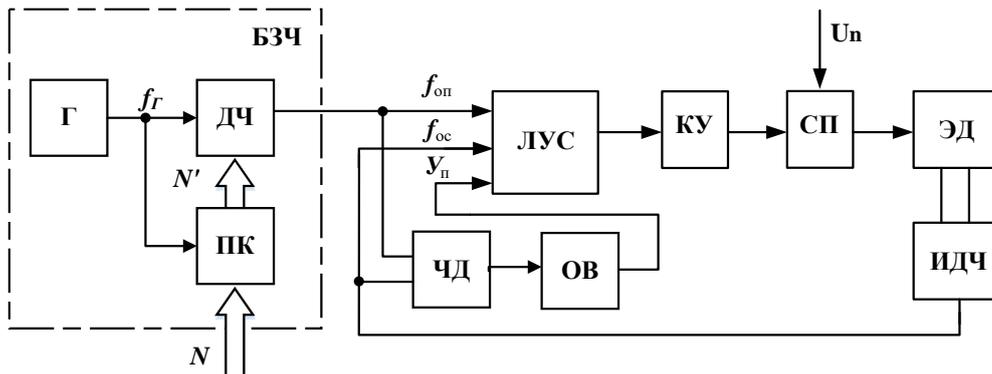


Рис. 4. Функциональная схема электропривода с реализацией блока задания частоты

При включении питания двигатель начинает разгоняться до синхронной скорости. При этом, через преобразователь кода на вход делителя частоты подается значение коэффициента деления N без корректировки его значения. В результате на выходе делителя частоты формируется импульсный сигнал с частотой $f_{оп}$, пропорциональной заданной угловой скорости электродвигателя. На входы ЛУС поступают сигнал задания $f_{ос}$ с выхода БЗЧ, и сигнал обратной связи $f_{обс}$, поступающий с выхода ИДЧ. При пуске электропривода частота $f_{оп}$ значительно превышает частоту $f_{ос}$, что определяет высокий уровень сигнала на выходе ЛУС, который, поступая на вход статического преобразователя, усиливающего и преобразующего управляющий сигнал в требуемый ток в обмотках ЭД, обеспечивает разгон электродвигателя с максимальным ускорением.

Частотный дискриминатор служит для определения момента времени, когда ошибка по угловой скорости $\Delta\omega$ становится меньше $\Delta\omega_r$, и для формирования в этот момент времени на выходе одновибратора сигнала U_n , с помощью которого осуществляется разблокировка ЛУС в режим фазового сравнения. Электропривод переходит в режим синхронизации и далее в синхронный режим работы.

Работа электропривода при изменении сигнала $f_{оп}$ выходе БЗЧ происходит следующим образом. Если разница между начальной и конечной заданной угловой скоростью меньше $\Delta\omega_r$, то отработка рассогласования по угловой скорости происходит без размыкания системы автоматического управления путем переключения делителя частоты на работу с новым коэффициентом деления N_{i+1} .

При малых значениях коэффициента деления N (в области высоких частот вращения) изменение выходной частоты $f_{оп}$ при изменении N на единицу может превышать допустимое значение (разница между начальной и конечной заданной угловой скоростью при этом получается больше $\Delta\omega_r$). В этом случае предлагается использовать промежуточные значения частоты $f_{оп}$, соответствующие дробным значениям коэффициента деления N . Их предлагается получать путем поочередного переключения между N_i и N_{i+1} , отличающимися на 1. В ПК, исходя из начальной и конечной угловой скорости и параметров электродвигателя, рассчитывается требуемый алгоритм изменения коэффициентов деления N , необходимый для организации переходного процесса без размыкания САУ [5]. Далее, рассчитанная последовательность коэффициентов деления N подается на делитель частоты. На выходе делителя частоты формируется задающий сигнал частоты $f_{оп}$, который обеспечивает плавный разгон (торможение) электропривода без выхода из пропорционального режима работы при отработке изменения сигнала задания.

В результате в стабилизированном электроприводе обеспечивается переход электропривода с одной угловой скорости (N_i) на другую ($N_{i+1} = N_i \pm 1$) без размыкания системы автоматического управления.

Рассмотренная реализация ЭПФС позволяет расширить диапазон изменения N в область малых значений, что позволяет в данной области обеспечить отработку электроприводом изменения задающего сигнала без выхода САУ в режим разомкнутого управления.

Дальнейшее расширение диапазона изменения N в область малых значений позволяет обеспечить использование ИЧФД с расширенной линейной зоной [6]. Функциональная схема электропривода с предлагаемой реализацией ИЧФД [7] приведена на рис. 5.

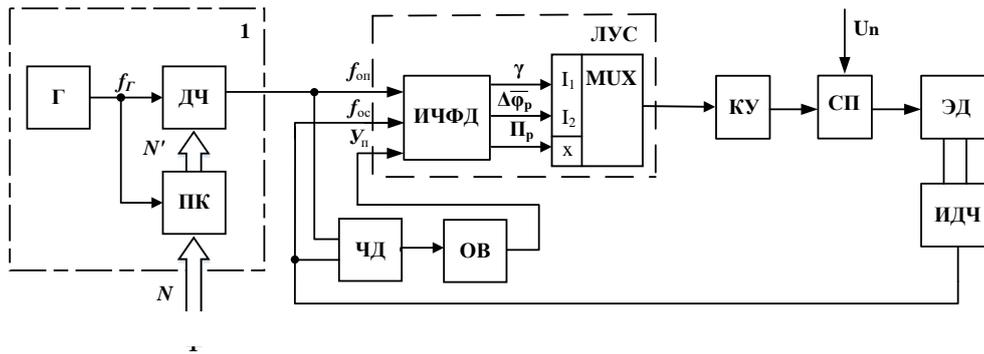


Рис. 5. Функциональная схема электропривода с реализацией импульсного частотно-фазового дискриминатора

Линейная зона формирования угловой ошибки $\Delta\alpha$ электропривода на выходе ИЧФД в режиме фазового сравнения находится в диапазоне угловой ошибки $-\varphi_0/2 < \Delta\alpha < \varphi_0/2$. При реализации режимов программного управления электроприводом при отработке изменения сигнала задания (в области малых значений коэффициента деления N в БЗЧ) электропривод выходит из синхронного режима и переходит в режим разгона или торможения, что требует последующий синхронизации ЭПФС и отрицательно сказывается на динамических показателях электропривода в переходных режимах работы.

Для улучшения динамических показателей электропривода предлагается реализация ЛУС в виде последовательно соединенных ИЧФД с расширенной в 3 раза линейной зоной $-3\varphi_0/2 < \Delta\alpha < 3\varphi_0/2$ и мультиплексора. Мультиплексор служит для коммутации входных информационных сигналов γ и $\Delta\varphi_p$ (выходной сигнал ИЧФД в режиме работы с расширенной линейной зоной) в зависимости от управляющего сигнала P_p , являющегося индикатором работы ИЧФД в режиме расширенной линейной зоны. При этом в режимах разгона и торможения электропривода на выход мультиплексора проходит сигнал γ с первого выхода ИЧФД, а в режиме синхронизации электропривода (режим замкнутого управления) – сигнал $\Delta\varphi_p$, пропорциональный угловой ошибке в режиме расширенной линейной зоны ИЧФД.

В результате обеспечивается расширенный в 3 раза диапазон регулирования угловой ошибки, что позволяет реализовать режимы отработки изменения сигнала задания в области малых значений кода задания N без выхода электропривода из синхронного режима.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные технические решения по построению ЭПФС позволяют расширить диапазон регулирования ЭПФС в область высоких частот вращения, обеспечивая реализацию переходного режима работы при изменении сигнала задания без размыкания САУ и, соответственно, высокие динамические показатели регулирования.

Рассмотренные схемные реализации электропривода могут эффективно применяться при построении ЭПФС и синхронно-синфазных электроприводов (ССЭ) с улучшенными динамическими показателями в режимах синхронизации и фазирования. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании современных ССЭ для сканирующих и обзорно-поисковых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трахтенберг Р. М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. М.: Энергоиздат, 1982. 169 с.
2. Бубнов А. В., Четверик А. Н. Разработка способов управления электроприводом с фазовой синхронизацией с улучшенными динамическими показателями // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2016. № 5 (149). С. 62–67.
3. Ясинский Г. И., Быстров А. М., Трахтенберг Р. М. Анализ и систематизация требований к электроприводам оптико-механических сканирующих систем // Усовершенствование и автоматизация промышленных электроприводов и электроустановок. 1980. С. 73–75.
4. Пат. 187266 Российская Федерация, МПК Н 02 Р 7/28, 7/25, 7/292. Стабилизированный электропривод / Бубнов А. В., Четверик А. Н., Чудинов А.Н. № 2018143345; заявл. 07.12.18; опубл. 27.02.19, Бюл. № 6.
5. Бубнов А. В., Бубнова Т. А. Способ регулирования синхронно-синфазного электропривода при ступенчатом изменении сигнала задания частоты вращения // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2010. № 1. С. 44–48.
6. Пат. 2647678 Российская Федерация, МПК Н 03 D 13/00, Н 03 L 7/091. Частотно-фазовый компаратор / Бубнов А. В., Четверик А. Н. № 2017120667; заявл. 13.06.17; опубл. 16.03.18, Бюл. № 8.
7. Пат. 188026 Российская Федерация, МПК Н 02 Р 7/285, 7/292, G 05 B 11/36. Стабилизированный электропривод / Бубнов А. В., Четверик А. Н., Чудинов А.Н., Ганин В. В., Шпинева В. И. № 2018146875; заявл. 27.12.18; опубл. 27.03.19, Бюл. № 9.

УДК 620.9

ЖАРОТРУБНЫЙ КОТЁЛ

А. С. Емельянов, Е. Н. Слободина, А. Г. Михайлов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Котельная техника малой мощности в России представлена в основном жаротрубными котлами. Экономическая целесообразность и простота конструкции жаротрубных котлов привели их к более широкому применению. В статье указаны факторы, влияющие на надёжность, энергетическую эффективность, снижение выбросов токсичных веществ в котлоагрегатах данного типа. Проанализированы конструкции двухходового и трёхходового типа. Рассмотрены зависимости КПД от нагрузки и теплоты, влияние тепловых потерь, определяющие характер изменения КПД.

Ключевые слова: котёл, КПД, факторы.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-69-72

I. ВВЕДЕНИЕ

Современная котельная техника малой и средней производительности развивается в следующих направлениях:

- повышение энергетической эффективности путём всемерного снижения тепловых потерь и наиболее полного использования энергетического потенциала топлива;
- уменьшение габаритов котельного агрегата за счёт интенсификации процесса сжигания топлива и теплообмена в топке и поверхностях нагрева;