

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ФАЗОСДВИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНЫМ ПРИНЦИПОМ ПОСТРОЕНИЯ*

М.М. Дудкин

г. Челябинск, ЮУрГУ

Рассматриваются принципы построения фазосдвигающих устройств (ФСУ) различных классов, применяемых в системах импульсно-фазового управления вентильными преобразователями. Приведены структурные схемы ФСУ, временные диаграммы их работы, а также сравнительный анализ их помехоустойчивости при воздействии гармонической помехи в широком частотном диапазоне на информационный вход устройства. Результаты получены на основе математического моделирования в среде MatLab v6.5 + Simulink v5.0.

На промышленных предприятиях по причине взаимного влияния вентильных преобразователей (ВП) через сеть и высокого уровня помех в каналах передачи информации наблюдается достаточно высокий поток аварийных отключений электроприводов из-за низкой помехоустойчивости элементов ВП, в частности, фазосдвигающих устройств (ФСУ). Поэтому в области автоматизированного электропривода одно из ведущих мест занимает проблема помехоустойчивости элементов системы управления [1], т.е. способность элементов системы регулирования ВП правильно передавать информацию, несмотря на наличие помех на их входах.

Анализ уровня помех на различных промышленных объектах показал [2-3], что для обеспечения качественного функционирования систем электропривода система импульсно-фазового управления (СИФУ) вентильными преобразователями должны сохранять свои номинальные характеристики в диапазоне частот сигналов помех $f = 50 \dots 1200$ Гц при $\bar{A}_n = A_n / X_{\max} \leq 0,1$, где A_n – амплитуда сигнала помехи, а $X_{\max}$ – максимальный уровень входного информативного сигнала.

ФСУ. Наиболее опасными помехами в системах промышленной автоматики являются гармонические [1–4], которые могут привести:

- к паразитной низкочастотной амплитудной модуляции выходного сигнала схем управления;
- постоянно действующей перегрузке по току ряда элементов схемы, борьба с которыми весьма затруднительна [4];
- изменению статических и динамических характеристик отдельных элементов и замкнутой системы электропривода в целом [1];
- и, в некоторых случаях, к полной неработоспособности схемы управления.

В связи с этим актуальна задача сравнительного анализа помехоустойчивости различных классов ФСУ с целью выбора оптимального варианта, обеспечивающего при простоте технической реализации высокие метрологические характеристики системы управления ВП.

Для решения поставленной задачи в качестве примера в среде MatLab v6.5 + Simulink v5.0 была составлена математическая модель тиристорного регулятора переменного напряжения (рис. 1).

В ее состав входят: источник трехфазного напряжения (1), система импульсно-фазового

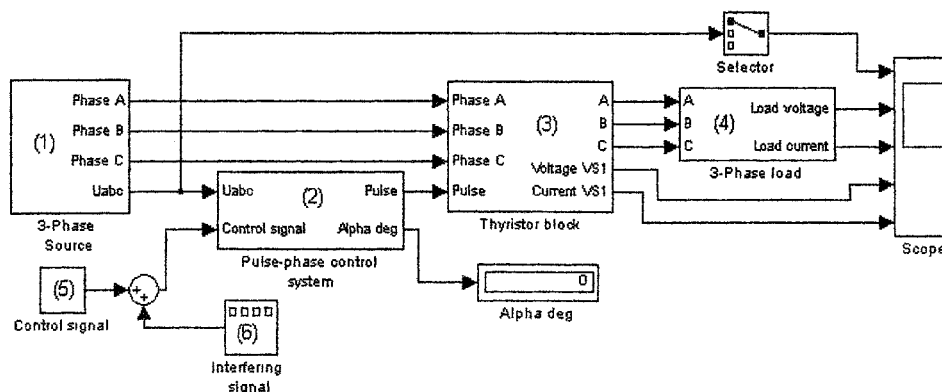


Рис. 1. Математическая модель системы тиристорного регулятора переменного напряжения

* Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

управления (2), блок тиристоров (3), трехфазная активно-индуктивная нагрузка (4), источник сигнала задания (5), блок (6), имитирующий сигнал помехи синусоидальной формы, а также регистрирующие приборы.

Блок тиристоров (3) представляет собой шесть встречно-параллельно включенных тиристоров, управляемых СИФУ (2), выполненной по многоканальному синхронному принципу [5], где каждый из ее каналов синхронизирован с соответствующей фазой напряжения сети. В свою очередь СИФУ (2) состоит из устройства синхронизации, предназначенного для синхронизации системы управления с напряжением сети; ФСУ, обеспечивающего изменение фазы (угла) управляющего импульса в функции сигнала задания (5) и распределителя импульсов управления.

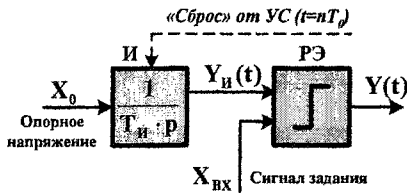
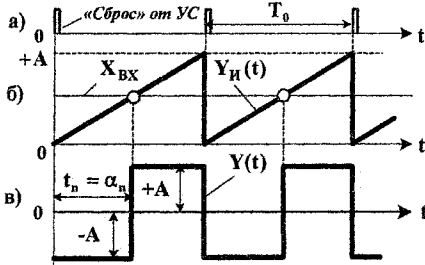
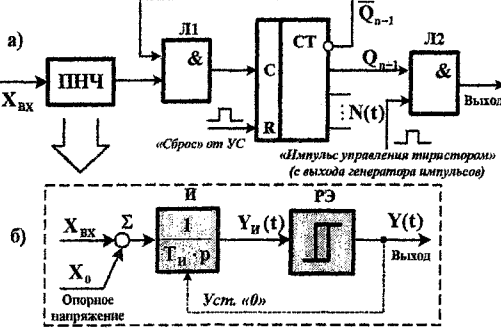
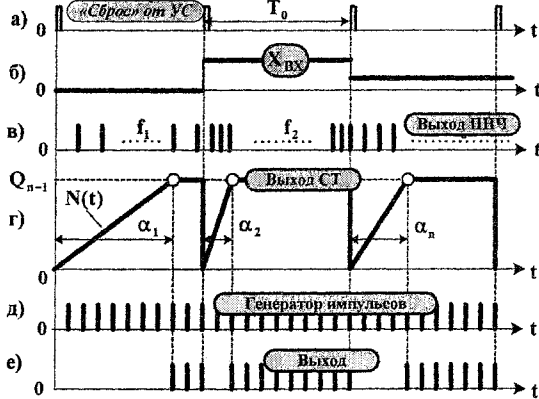
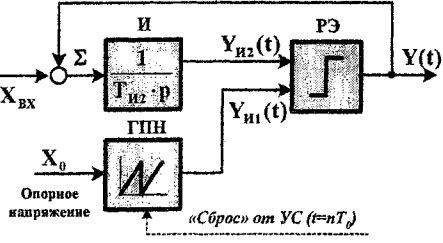
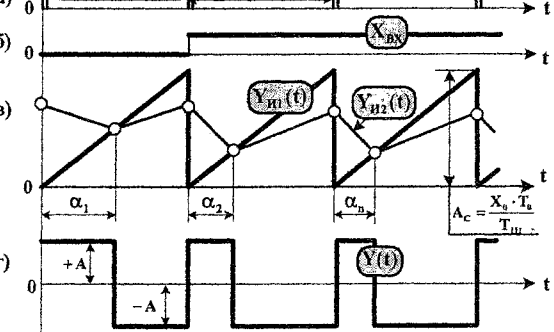
В математической модели (рис. 1) преду-

смотрена возможность в блоке СИФУ (2) выбирать фазосдвигающие устройства трех классов: разомкнутого с выборкой мгновенных значений сигнала управления, получившего в литературных источниках название ФСУ с «вертикальным» управлением, интегрирующего число-импульсного с «горизонтальным» управлением и замкнутого интегрирующего с синхронизацией со стороны релейного элемента РЭ [6–7]. Структурные схемы и временные диаграммы сигналов исследуемых устройств приведены в табл. 1

ФСУ с «вертикальным» управлением (табл. 1, рис. 1) с параметрической (независящей от входного сигнала) разверткой $Y_H(t) = X_0 \cdot t / T_H$, где X_0 – опорный сигнал, включает в себя интегратор И с постоянной времени T_H и релейный элемент РЭ. Принцип действия ФСУ основан на непо-

Таблица 1

Структурные схемы и временные диаграммы сигналов ФСУ различных классов

Название	Структурная схема	Временные диаграммы сигналов
ФСУ с «вертикальным» управлением	 Рис. 1	 Рис. 2
Интегрирующее число-импульсное ФСУ с «горизонтальным» управлением	 Рис. 3	 Рис. 4
Замкнутое интегрирующее ФСУ с синхронизацией со стороны РЭ	 Рис. 5	 Рис. 6

средственном сравнении параметрической раз-
вертки $Y_H(t)$ с сигналом управления X_{BX}
(табл. 1, рис. 2). В момент времени t_n , соответ-
ствующему равенству $Y_H(t) = X_{BX}$, формируется
импульс управления тиристором. Синхронизация
сигнала развертки $Y_H(t)$ с напряжением сети про-
исходит в моменты времени $t = n \cdot T_0$ импульсом с
выхода устройства синхронизации (УС) (табл. 1,
рис. 2 а), когда в интеграторе И происходит уста-
новка нулевых начальных условий (табл. 1, рис. 1).
Здесь: T_0 – период сигнала $Y_H(t)$, равный поло-
вине периода питающей сети; $n = 1, 2, 3, \dots$ – целое
число, соответствующее номеру интервала дис-
кретизации.

Интегрирующее число-импульсное ФСУ с
«горизонтальным» управлением (табл. 2, рис. 3 а)
включает в себя преобразователь напряжения в
частоту импульсов ПНЧ, суммирующий счетчик
СТ и логические элементы Л1, Л2 типа «2И».

ПНЧ (табл. 1, рис. 3 б) выполнен по схеме
интегрирующего преобразователя с установкой

нулевых начальных условий в канале интегриро-
вания и обладает повышенной помехоустойчиво-
стью к сигналам внешних помех со стороны ин-
формационного входа по сравнению с другими
ПНЧ [8].

В момент времени перехода напряжением се-
ти через нулевой уровень СТ «обнуляется» им-
пульсом малой длительности с выхода устройства
синхронизации СИФУ (табл. 1, рис. 4 а), а элемент
Л1 открывается сигналом «1» с инверсного выхода
 $\bar{Q}_{n-1}$ старшего разряда СТ. С помощью ПНЧ сиг-
нал управления X_{BX} преобразуется в импульсы с
частотой $f_1, f_2, \dots, f_n$ (табл. 1, рис. 4 в), пропорцио-
нальной X_{BX} (табл. 1, рис. 4 б). В счетчике СТ
накапливается число $N(t)$ (табл. 1, рис. 4 г). При
переходе старшего разряда СТ в состояние
 $\bar{Q}_{n-1} = 0$ логический элемент Л1 закрывается, и
счет прекращается. Одновременно сигналом
 $Q_{n-1} = 1$ с прямого выхода старшего разряда СТ
(табл. 1, рис. 3) открывается элемент Л2, и им-
пульсы с выхода генератора (табл. 1, рис. 4 д) по-

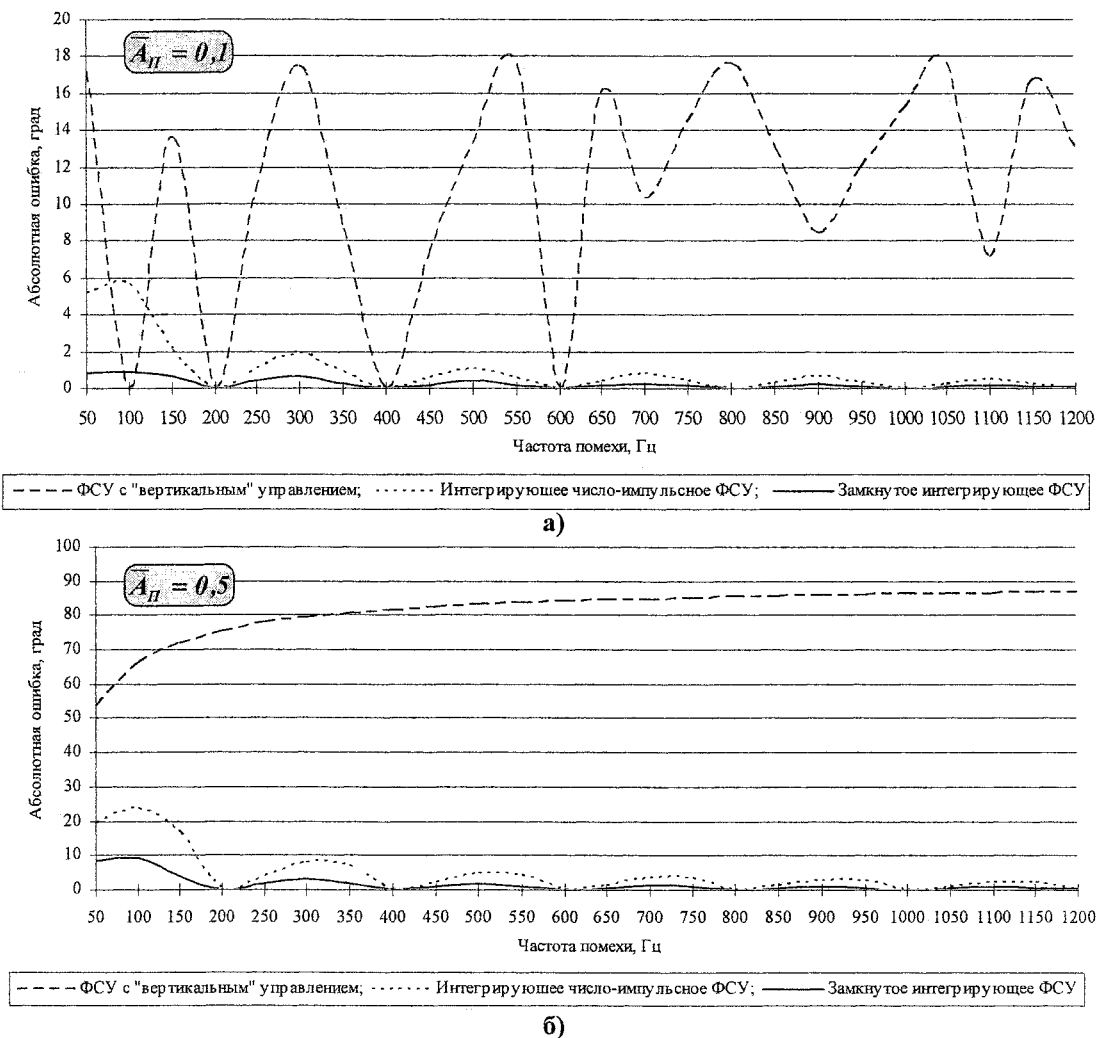


Рис. 2. Абсолютная ошибка угла управления $\Delta\alpha$ под действием сигнала помехи
для различных классов фазосдвигающих устройств: а) $\bar{A}_H = 0,1$; б) $\bar{A}_H = 0,5$

даются на управляющий переход соответствующего из силовых тиристоров ВП (табл. 1, рис. 4 е).

Длительность открытого состояния тиристоров зависит от амплитуды сигнала X_{BX} (табл. 1, рис. 4 б), определяющего угол управления $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ (табл. 1, рис. 4 в).

Замкнутое интегрирующее ФСУ с синхронизацией со стороны релейного элемента РЭ выполнено на основе автоколебательного разветвляющего преобразователя, включающего сумматор Σ , интегратор И с постоянной времени $T_{И2}$, релейный элемент РЭ с безгистерезисной и симметричной относительно нуля характеристикой (табл. 1, рис. 5). Перевод ФСУ в режим вынужденных переключений производится от генератора пилообразного напряжения ГПН, формирующего сигнал ведущей разветвляющей функции $Y_{И1}(t) = X_0 \cdot t / T_{И1}$, синхронизированного с напряжением сети (табл. 1, рис. 6 а-б), где: X_0 – опорный сигнал ГПН; $T_{И1}$ – постоянная времени ГПН, причем $T_{И1} < T_{И2}$.

Ведущая развертка $Y_{И2}(t)$ представляет собой результат интегрирования суммы или разности выходного сигнала $Y(t)$ и входного воздействия X_{BX} (табл. 1, рис. 6). Импульс управления тиристором на выходе СИФУ формируется в момент равенства нарастающего фронта ведущей $Y_{И1}(t)$ и спадающего фронта ведомой $Y_{И2}(t)$ разверток. Скважность $\gamma = \alpha_n / 180$ эл. град выходных импульсов $Y(t)$ (табл. 1, рис. 6 в) (угол управления тиристором $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$) определяется величиной сигнала управления X_{BX} .

Последовательность эксперимента в среде MatLab v6.5 + Simulink v5.0 заключалась в следующем:

1. Для всех трех классов ФСУ измерялся угол управления α_0 при отсутствии сигнала помехи на их информационных входах. При этом сигнал управления $\bar{X}_{BX}$ выбирался таким образом, чтобы угол α_0 для исследуемых устройств составил 90 эл. град.

2. Измерялся угол управления $\alpha_{П}$, соответствующий максимальному отклонению угла от заданного значения α_0 , при воздействии на информационный вход ФСУ вместе с полезной составляющей X_{BX} гармонического сигнала помехи $X_{П}(t)$ в частотном диапазоне 50–1200 Гц.

3. Пункт 2 эксперимента проводился для двух нормированных значений амплитуды помехи $\bar{A}_{П} = 0,1$ и $\bar{A}_{П} = 0,5$.

Результаты эксперимента представлены в виде графиков $\Delta\alpha = F(f_{П}, \bar{A}_{П} = 0,1)$ и

$\Delta\alpha = F(f_{П}, \bar{A}_{П} = 0,5)$ (см. рис. 2), где $\Delta\alpha = |\alpha_0 - \alpha_{П}|$ – абсолютная ошибка угла управления в результате воздействия сигнала помехи $X_{П}(t)$ с частотой $f_{П}$.

При моделировании начальная частота ПНЧ $f_0 = X_0 / 2 \cdot b \cdot T_B$ (табл. 1, рис. 3 б) (при нулевом входном сигнале) составила 25,6 кГц, где X_0 – опорное напряжение; b – порог переключения РЭ; $T_{И}$ – постоянная времени интегрирования ПНЧ. Для замкнутого интегрирующего ФСУ с синхронизацией со стороны РЭ (табл. 1, рис. 5) соотношение между постоянными времени интегрирования $T_{И2}$ и $T_{И1}$ равнялось двум ($T_{И2} / T_{И1} = 2$), что обеспечивает достаточно высокое быстродействие (малую инерционность) устройству.

Характеристики, показанные на рис. 2, позволяют сделать следующие выводы:

1. Интегрирующие фазосдвигающие устройства, по сравнению с ФСУ «вертикального» типа, обладают повышенной помехоустойчивостью. Так при $\bar{A}_{П} = 0,1$ максимальная абсолютная ошибка угла управления для ФСУ с «вертикальным» управлением составляет 18 эл. град., а для интегрирующих – 6 эл. град. для число-импульсного ФСУ и 1 эл. град. для замкнутого ФСУ с синхронизацией со стороны РЭ. Это вызвано следующими факторами. В разомкнутом интегрирующих ФСУ сигнал помехи, воздействующий на вход системы, подвергается операции двойного интегрирования. Первым каналом интегрирования является ПНЧ, вторым – СТ. В замкнутых интегрирующих ФСУ снижение ошибки угла управления $\Delta\alpha$ достигается за счет обратной связи ФСУ и наличия интегратора в прямом канале регулирования. В ФСУ с выборкой мгновенных значений сигнала управления сигнал помехи поступает непосредственно на вход РЭ, сравниваясь с сигналом развертки $Y_{И}(t)$.

2. Низкая помехоустойчивость ФСУ с «вертикальным» управлением объясняется также тем обстоятельством, что при высокой амплитуде и производной сигнала помехи $X_{П}(t)$, превышающей скорость нарастания развертки $Y_{И}(t)$, на выходе устройства возникают ложные срабатывания РЭ, приводящие к дополнительным срабатываниям формирователей импульсов. Это не только вызывает существенный рост $\Delta\alpha$ (см. рис. 2 б), но может послужить и причиной аварийного срабатывания защит ВП.

3. Для интегрирующих ФСУ абсолютная ошибка $\Delta\alpha$ уменьшается с ростом частоты помехи. Этот фактор зачастую позволяет исключить на информационном входе СИФУ дополнительных фильтров для подавления высокочастотных помех, что характерно для ВП с ФСУ «вертикального» типа.

4. Замкнутое ФСУ с синхронизацией со стороны РЭ (табл. 1, рис. 5) обладает наиболее повышенной помехоустойчивостью, что говорит о целесообразности использования данного устройства на промышленных объектах с высоким уровнем помех в канале передачи информации. Кроме того, замкнутое ФСУ обеспечивает адаптацию угла управления по отношению к частоте сети, что необходимо в системах управления с источниками питания ограниченной мощности, характеризующихся нестационарностью параметров сети.

Литература

1. Осипов, О.И. Промышленные помехи и способы их подавления в вентильных электроприводах постоянного тока / О.И. Осипов, Ю.С. Усынин. – М.: Энергия, 1979. – 80 с.
2. Осипов, О.И. Техническое диагностирование промышленных помех и разработка способов их подавления в вентильных электроприводах прокатных станов с элементами УБСР. Дис. ...канд. техн. наук / О.И. Осипов. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 218 с.
3. Пасковатый, О.И. Электрические помехи в системах промышленной автоматики / О.И. Пасковатый. – М.: Энергия, 1973. – 104 с.
4. Осипов, О.И. Уровни промышленных помех в вентильных электроприводах прокатных станов на элементах УБСР / О.И. Осипов, Ю.С. Усынин // *Электротехн. пром-сть. Сер. «Электропривод»*. – 1974. – Вып. 4. – С. 25–28.
5. Козин, В.М. Управляющие устройства тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока / В.М. Козин, Я.Е. Марченко. – М.: Энергия, 1971. – 324 с.
6. Дудкин, М.М. Сравнительный анализ динамических характеристик фазосдвигающих устройств / М.М. Дудкин; под ред. С.И. Лукьянова // *Электротехнические системы и комплексы: межвузовский сб. науч. тр.* – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – Вып. 11. – С. 87–96.
7. А.с. 1288864, Н02М7/00. Устройство для управления вентильным преобразователем / Цытович Л.И. (СССР) – №3919220/24-07; заявлено 01.07.85, опубл. 07.02.87, Бюл. №5.
8. Дудкин, М.М. Сравнительный анализ динамических характеристик преобразователей напряжения в частоту импульсов / М.М. Дудкин // *Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро-технологии»: тез. докл. в 2-х т.* – Иваново, 2005. – Т.1. – С. 189.

Дудкин Максим Михайлович, аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЮУрГУ. Научное направление – элементы и устройства систем управления силовыми вентильными преобразователями.