

НЕЛИНЕЙНАЯ КОРРЕКЦИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МУС-Д ГЛУБОКОРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А. П. ИНЕШИН, В. А. СЕВАСТЬЯНОВ

(Рекомендовано научным семинаром электромеханического факультета)

Широкое применение нашли разработанные ЭНИМС регулируемые приводы постоянного тока с МУС серии ПМУ-М, для диапазона регулирования скорости исполнительного двигателя $D=10:1$. Им же в настоящее время разработаны и выпущены опытные образцы приводов ППМУ с диапазоном регулирования $100:1$ [1] с введением обратной связи по скорости от тахогенератора постоянного тока через промежуточный полупроводниковый усилитель (ППУ).

Дальнейшее расширение диапазона регулирования при одновременном улучшении динамических и статических качеств привода может быть достигнуто применением ППУ более совершенного типа и соответствующими схемными решениями САР.

Следует отметить, что улучшение статической точности САР за счет увеличения коэффициента усиления регулятора ограничено динамическими свойствами регулируемого объекта. Одной из возможностей увеличения общего коэффициента передачи регулятора без потери устойчивости и существенного ухудшения других динамических свойств системы является применение корректирующих устройств, в частности, введение производных в закон регулирования.

Однако для систем автоматического регулирования, содержащих корректирующие звенья с неизменными параметрами, существуют предельные показатели качества, которые значительно снижаются при нелинейных характеристиках элементов системы и введении ограничения допустимого ускорения регулируемой величины [2]. Обойти эти трудности можно путем создания систем автоматического регулирования с переменной структурой, где для улучшения динамики производится коммутация корректирующих цепей в зависимости от состояния системы. Некоторые возможные законы изменения параметров цепей коррекции и соответствующие системы регулирования рассмотрены в [3].

Кафедрой электропривода Ульяновского политехнического института в содружестве с Ульяновским заводом тяжелых станков создан и подготовлен для внедрения вариант нереверсивного привода МУС-Д с ППУ для диапазона регулирования скорости $D=200:1$; по ряду динамических показателей, не уступающий аналогичному электроприводу

по системе ЭМУ-Д с ППУ. Упрощенная структурная схема этого электропривода приведена на рис. 1, где: ИД — исполнительный электродвигатель постоянного тока, МУС — статический преобразователь тока, выполненный на базе стандартного силового магнитного усилителя с самонасыщением; ППУ — промежуточный полупроводниковый усилитель класса Д. Повышение диапазона регулирования скорости до 200:1 осуществляется введением жесткой отрицательной обратной связи по скорости от тахогенератора ТГ постоянного тока через ППУ. Для стабилизации привода применена гибкая отрицательная обратная связь,

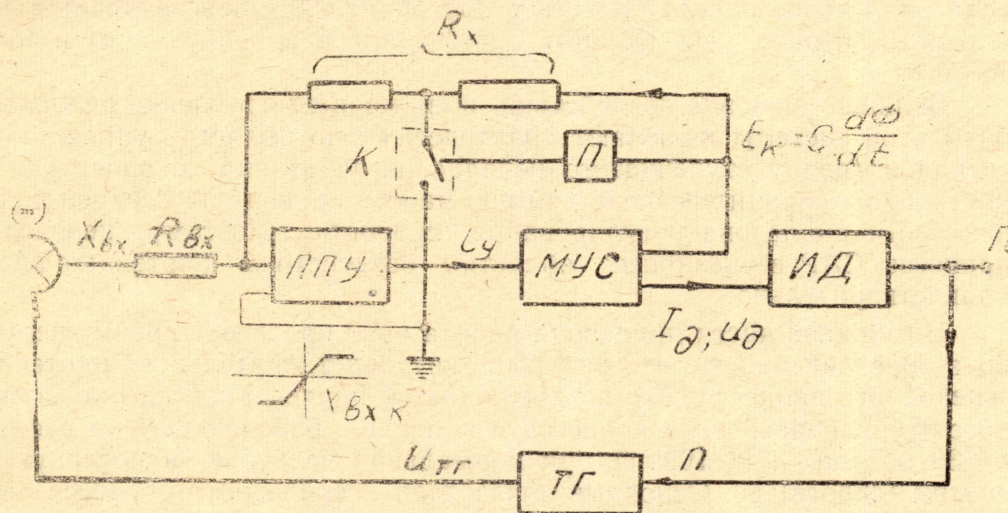


Рис. 1

охватывающая звенья с наибольшим коэффициентом усиления и наибольшей инерционностью: ППУ и МУС. С этой целью для снятия сигнала стабилизации регулируемой величины используется отдельная обмотка управления МУС, сигнал которой пропорционален производной результирующего магнитного потока сердечников [4]. Чтобы не изменять статического коэффициента усиления системы, корректирующая связь обязательно должна иметь типовое звено вида

$$\frac{K_k p T_k}{1 + p T_k},$$

которое на очень низких частотах (установившийся режим) как бы устраняет действие обратной связи, а на частотах, где

$$\frac{p T_k}{1 + p T_k} \approx 1,$$

превращает ее в жесткую отрицательную связь с передаточным коэффициентом коррекции K_k .

Работа рассматриваемой САР (ППУ—МУС—Д) отличается наличием двух возможных режимов, обусловленных насыщением в прямом канале системы [5]. Ввиду большого коэффициента усиления безынерционный ППУ насыщается уже при малых амплитудах сигнала ошибки, тем самым ослабляется действие корректирующей связи. Вне зоны линейности при больших внешних воздействиях корректирующая связь становится настолько слабой, что контур коррекции оказывается как бы разомкнутым: разомкнутая по цепи коррекции САР работает в режи-

ме предельного управления, при этом обеспечивается максимальное использование возможностей исполнительного двигателя и, следовательно, максимальное быстродействие для данной САР. Переход от системы предельного управления к системе линейного управления с эффективно действующей цепью коррекции необходим в зоне малых сигналов из-за опасности появления автоколебаний вблизи положения равновесия. Для САР на рис. 1 насыщение является типовым режимом, работает она по принципу двухзонного управления и в области больших внешних воздействий не нуждается в специальном переключающем устройстве перевода системы из одного режима в другой, так как обеспечивается естественный переход из области насыщения в линейную зону и обратно [5].

Большие внешние воздействия, вызывающие изменение режима работы этой системы включают практически всю область управляющих сигналов (ввиду ступенчатого исполнения задатчика скорости) и область возмущающих воздействий при работе привода на верхней и средней части диапазона регулирования скорости. Поэтому переходные процессы САР в указанных областях воздействий протекают вполне удовлетворительно.

На нижней части диапазона работа САР протекает преимущественно в зоне линейности, что вызывает неудовлетворительное протекание переходного процесса. Это подтверждается приведенной на рис. 2 осциллограммой переходного процесса в приводе, работающем на скорости $n=30$ об/мин., ($D=100:1$) при нормальной нагрузке и последующем снятии (сбросе) ее. Основные показатели переходного процесса, полученные из осциллограммы, сведены в таблицу № 1 а. Он отличается колебательностью, большими величинами перерегулирования и затянут во времени. Это объясняется тем, что, во-первых, при работе на низких скоростях вращения ИД эффективность действия цепи основной жест-

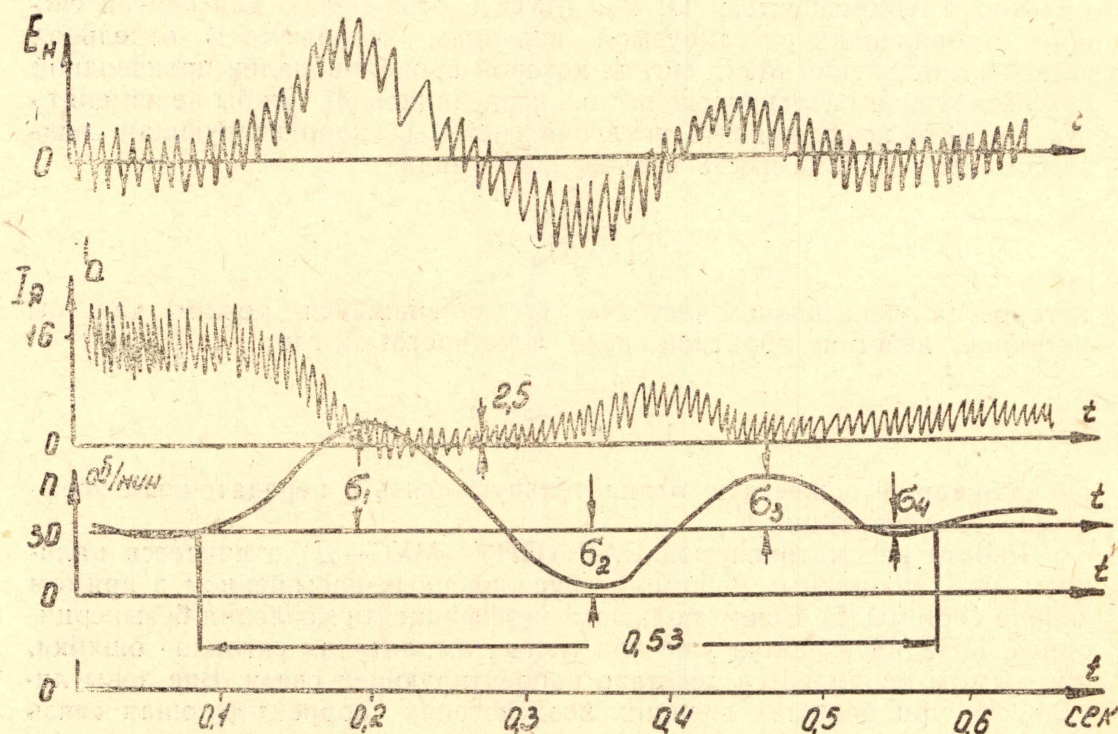


Рис. 2.

кой отрицательной обратной связи незначительна, ввиду малости величины задающего напряжения и ЭДС тахогенератора; во-вторых, отсутствует контур динамического торможения, что делает невозможным разряд запасенной энергии ИД при возникновении перерегулирования и, в-третьих, сильно действует гибкая корректирующая обратная связь. Последнее обстоятельство решающим образом сказывается на качестве переходного процесса в приводе при сбросе нагрузки. В этом случае ток якорной цепи и пропорциональный ему момент двигателя из-за действия цепи коррекции уменьшается не сразу, а плавно, что приводит к появлению на валу двигателя динамического момента, вызывающего ускорение вращения вала двигателя. Возникающее первоначальное перерегулирование имеет большую величину, что обуславливает дальнейшее колебательное протекание переходного процесса.

Удовлетворительный переходный процесс при сбросе нагрузки в системе на рис. 1 и 3 обеспечивается введением звена нелинейной дискретной коррекции (НДК), позволяющего получить ранее упомянутый предельный режим управления САР и на нижнем участке диапазона регулирования скорости ИД. Это достигается искусственным отключением цепи параллельной коррекции на время переходного процесса при сбросе нагрузки. Основными элементами звена НДК (рис. 3) являются:

К — ключевой элемент, отключающий сигнал коррекции путем шунтирования ее цепи;

П — пороговый элемент, осуществляющий селективное (избирательное) управление ключевым элементом К лишь на время переходного процесса сброса нагрузки ИД.

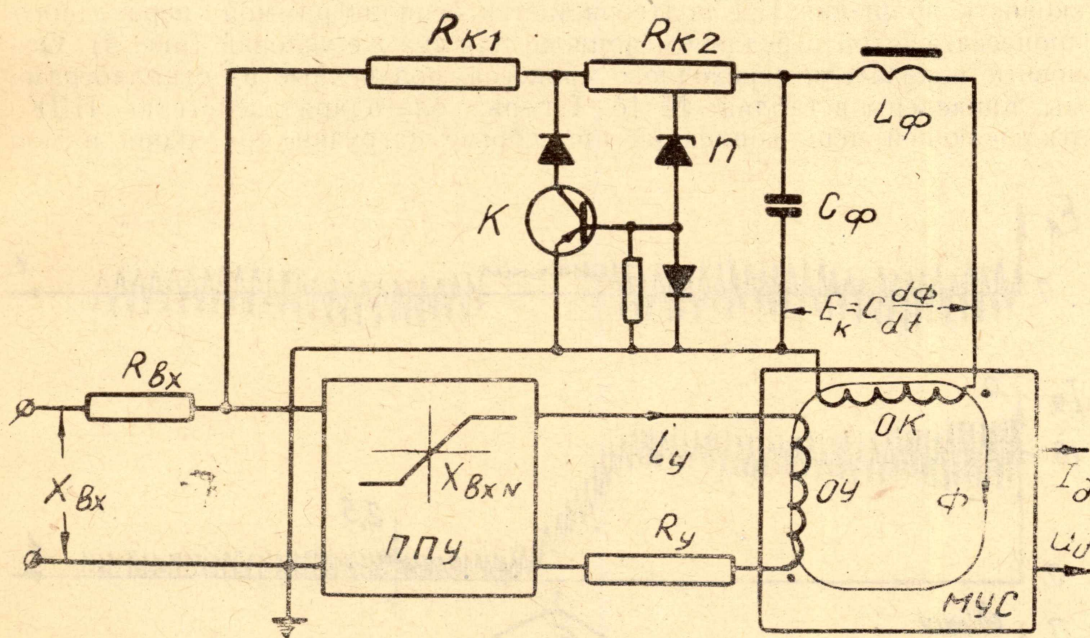


Рис. 3.

Принципиальная схема звена НДК построена целиком на полупроводниковых приборах (рис. 3). В качестве ключевого элемента «К» использован полупроводниковый триод типа р—п—р, нормально закрытый при отсутствии сигнала управления. В коллекторную цепь триода включен полупроводниковый диод с целью обеспечения рабочей полярности коллекторного напряжения триода. Пороговым элементом «П»

является стабилитрон, точка подключения которого определяет настройку срабатывания звена НДК. Для управления звеном НДК используется сигнал корректирующей цепи определенной величины и полярности, соответствующей переходному процессу в электроприводе при сбросе нагрузки.

При отрицательной относительно общего провода полярности сигнала коррекции, что соответствует переходному процессу запираания МУС, стабилитрон пробивается, открывая по цепи базы полупроводниковый триод. Последний переходит от режима отсечки в насыщение, шунтирует сигнал коррекции, отключая его относительно входной цепи ППУ и обеспечивая этим предельное быстродействие САР.

В переходном процессе открывания МУС, что соответствует положительной полярности сигнала в цепи коррекции, звено НДК не работает, так как вентиль в коллекторной цепи триода и стабилитрон закрыты. Пробой стабилитрона в обратном направлении возможен лишь при первичном подключении МУС к трехфазной сети переменного тока. При коммутации силовой цепи в этом случае в цепи коррекции возникает импульс перенапряжения положительной полярности, пробивающий стабилитрон. С целью устранения обратного напряжения на запертом переходе база-эмиттер полупроводникового триода последний шунтируется вентилем. В других случаях срабатывания звена НДК (перерегулирование скорости при пусках, перевод ИД с большой скорости на малую или режим сброса нагрузки на средней и верхней части диапазона) влияние его несущественно, так как САР в этих случаях автоматически переходит в режим предельного быстродействия.

Благоприятное действие звена НДК при сбросе нагрузки на низкой скорости вращения ИД подтверждается осциллограммой переходного процесса, снятой в реальном приводе для тех же условий (рис. 4). Основные показатели переходного процесса, полученные из осциллограммы, приведены в таблице № 16. Теперь, благодаря действию НДК, отключающей цепь коррекции при сбросе нагрузки, ток якоря и мо-

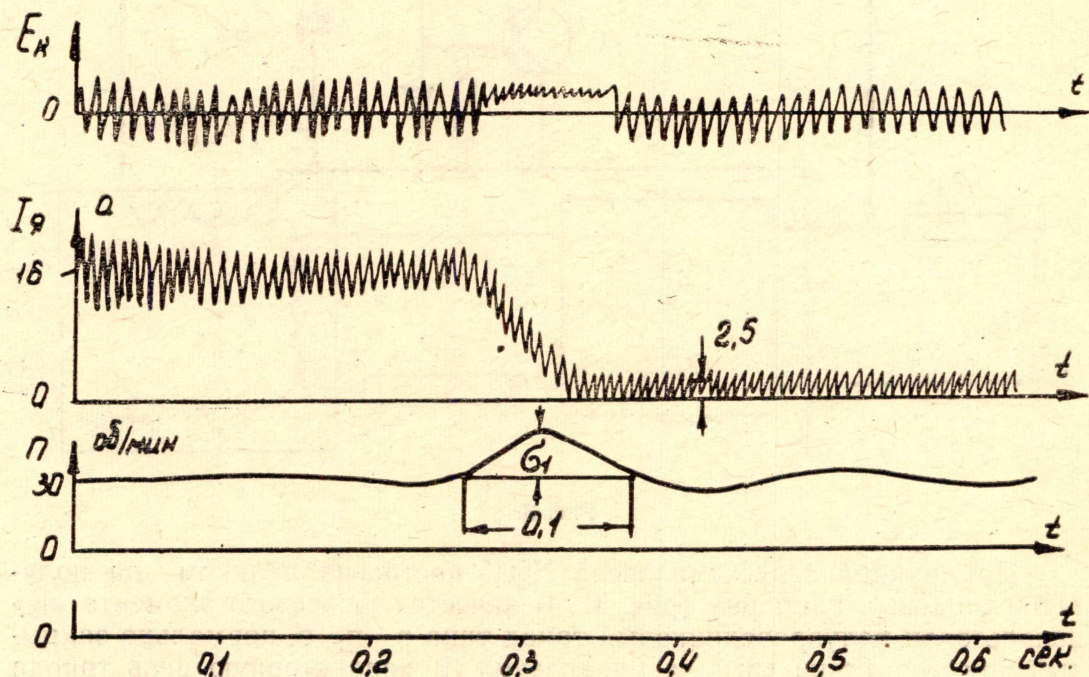


Рис. 4.

мент двигателя спадает значительно быстрее, чем без звена НДК (рис. 2). Это обуславливает малую величину первоначального перерегулирования скорости ИД, последующее быстрое затухание и меньшее время переходного процесса.

Следует отметить, что введение такого вида нелинейной коррекции не ухудшает показатели других видов переходных процессов. Наличие в силовой цепи преобразователя клапанов и невозможность электрического торможения двигателя не накладывает каких-либо ограничений на величину практически достижимой скорости записывания преобразователя. Однако в случае применения нескольких нелинейных корректирующих устройств, например, для одновременного улучшения качества переходных процессов при приеме нагрузки, могут иметь место отрицательные последствия. Здесь переходные процессы и работа корректирующих устройств окажутся взаимно связанными и, при неблагоприятных обстоятельствах, в системе возможны ухудшение качества, потеря устойчивости и переход в режим жестких колебаний.

Область применения способа введения НДК по схеме на рис. 3 может быть значительно расширена. Без существенных переделок он применим, например, в глубокорегулируемых электроприводах, с нереверсивным ионным или полупроводниковым преобразователем.

Таблица № 1а

Начальные условия переходного процесса	Число колебаний (полувольт)	Величины перерегулирова- ния (%)	Время переходного процесса (сек.)
$n = 30$ об/мин $I_a = 16a$ (без звена НДК)	4	$\sigma_1 = + 180\%$ $\sigma_2 = - 80\%$ $\sigma_3 = + 70\%$ $\sigma_4 = - 18\%$	0,53

Таблица № 1б

Начальные условия	Число колебаний (полувольт)	Величины перерегулиро- вания (%)	Время переходного процесса (сек.)
$n = 30$ об/мин $I_a = 16a$ (включено звено НДК)	1	$\sigma_1 = + 65\%$	0,1

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Петровский, Я. Б. Розман. Регулируемый электропривод с магнитными усилителями. «Энергия», 1964.
2. «Основы автоматического регулирования». Под редакцией В. В. Солодовникова. Машгиз, 1954.
3. В. А. Таран. Обзор. «Применение нелинейной коррекции и переменной структуры для улучшения динамических свойств системы автоматического регулирования. Автоматика и телемеханика, том XXV, № 1, 1964.
4. М. А. Розенблат. Магнитные усилители, изд. «Советское радио», 1960.
5. «Анализ и расчет нелинейных систем автоматического управления». Дж. Тэлор, М. Пестель. Изд. «Энергия», 1964.