

ВЛИЯНИЕ ПОМЕХ НА СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МУС-Д С ППУ

В. А. СЕВАСТЬЯНОВ, А. П. ИНЕШИН, В. П. СИБИЛЕВ

(Представлено научным семинаром кафедры «Электропривод и автоматизация
промышленных установок» Ульяновского политехнического института)

К регулируемым электроприводам широкого диапазона предъявляются требования: высокая статическая точность регулирования, стабильность характеристик, оптимальное быстродействие и надежность работы.

Частично эти качества объединяют в себе системы, построенные на базе исполнительного электродвигателя постоянного тока (ИД), силового магнитного усилителя (МУС), предварительного каскада усиления на полупроводниковых элементах (ППУ) и датчика скорости — тахогенератора (ТГ).

Из приводов подобного типа, получивших применение в металло-режущих станках, наиболее известны ПМУП ЭНИМС. Они объединяют лучшие качества существующих каскадов усиления, вопрос согласования которых в САР имеет одно из первостепенных значений.

Общим недостатком приводов МУС-Д с ППУ является чувствительность к помехам, оказывающим существенное влияние на величину общего коэффициента усиления, статические характеристики, быстродействие и надежность работы привода. Поэтому при проектировании систем автоматического регулирования (САР) с МУС-Д необходимо иметь полное представление о причине возникновения помех, составе спектра их частот, величине амплитуды и др.

Анализ состава помех и их влияния в системах ЭМУ-Д с ППУ проведен в [2]. Однако применительно к приводам МУС-Д с ППУ этот вопрос изучен недостаточно и требует дополнительного исследования.

Производственные испытания ПМУП-9М на станках УЗТС [3] и исследование его в отраслевой лаборатории УПИ с целью выявления возможности применения в них УМЗП и расширения диапазона регулирования скорости исполнительного электродвигателя позволили одновременно выявить влияние помех в приводах МУС-Д с ППУ на их статические и динамические показатели, а также на надежность работы привода.

Принципиальная схема входной цепи привода МУС-Д с ППУ дана на рис. 1. Здесь для стабилизации применяется известная цепь РС, передающая сигнал коррекции на сопротивление R_8 . Вынужденный охват

этой цепью преобразователя (звеньев с наибольшим коэффициентом усиления) приводит к появлению на входе ППУ значительного уровня помех.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные амплитудного $U_{яа}$ и действующего $U_{яд}$ значений переменной составляющей напряжения $U_{я} \sim$ якоря от тока $I_{я}$ при работе ИД на скорости 30 об/мин, то есть $D=100$. Вели-

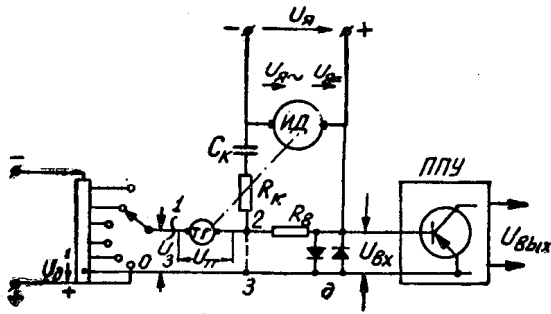


Рис. 1. Входная цепь привода МУС-Д с ППУ.

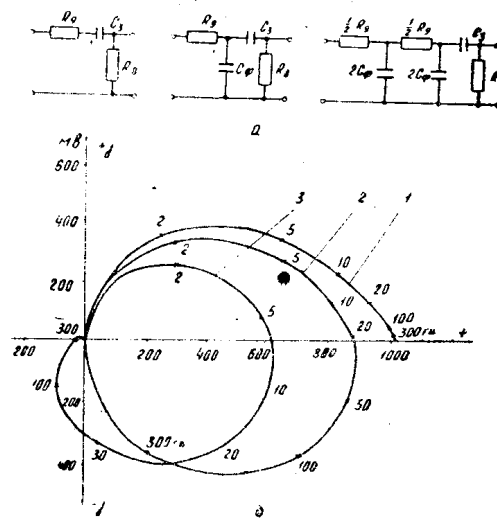


Рис. 2. Варианты корректирующих цепей и их частотные характеристики.

чина импульсов $U_{яа}$, следующих с частотой 300 гц, быстро растет при загрузке двигателя и достигает более десяти вольт.

Таблица 1

	$U_3 = 2 \text{ в}$												
$I_{я} \text{ а}$	0,8	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	12,0	15,0
$U_{яа} \text{ в}$	2,8	4,0	4,8	6,5	8,6	9,0	11,0	12,5	13,5	13,6	14,0	14,0	14,0
$U_{яд} \text{ в}$	0,7	1,3	1,6	1,8	2,3	2,8	2,8	3,0	3,6	3,8	4,2	4,4	4,6

Цепь RC не имеет желаемой частотной избирательности при выбранных по условиям устойчивости САР параметрах $R_k=1,2 \text{ ком}$, $C_k=40 \text{ мкф}$, что видно из АФЧХ рис. 2, б (кривая 1) этого звена. В полосе пропускания САР ($0 \div 5 \text{ гц}$) передача полезного сигнала незначительна, а $U_{яа}$ как основная помеха передается цепью RC в контур сравнения практически без сдвига фазы с максимальным коэффициентом передачи равном:

$$K_{RC} = \frac{R_2}{R_3 + R_k} = \frac{160}{160 + 1200} = 0,11, \quad (1)$$

где величиной емкостного сопротивления на частоте гц можно пренебречь.

Таким образом, на входе ППУ даже при работе привода при установившемся режиме, кроме сигнала ошибки $U_y = U - U_{тч}$ действует значительное переменное напряжение $U_n = K_{RC} U_{яа}$ помехи

Приведенная на рис. 3 упрощенная характеристика вход-выход однотактного ППУ с насыщением в относительных единицах позво-

ляет выявить влияние помехи фиксированной частоты с амплитудой U_n . Помеха выбранной треугольной формы почти эквивалентна по действию синусоидальной, но значительно упрощает анализ совместного действия помехи и сигнала постоянного тока U_c .

При $U_c = 0$ помеха любой амплитуды в результате ограничения детектируется, открывая ППУ. При малых амплитудах помехи ($0 < U_n \leq 1$) ограничение ее происходит лишь снизу, по нулевой линии (рис. 3) и среднее значение выходного сигнала определяется выражением (в относительных долевых единицах):

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_n}{4}. \quad (2)$$

При больших значениях амплитуды помехи ($U_n > 1$) наблюдается двухстороннее ее ограничение и среднее значение выходного сигнала составляет:

$$U_{\text{вых}} = \frac{2U_n - 1}{4U_n}. \quad (3)$$

При $U_n = \infty$ $U_{\text{вых}}$ стремится к максимальной величине равной 0,5.

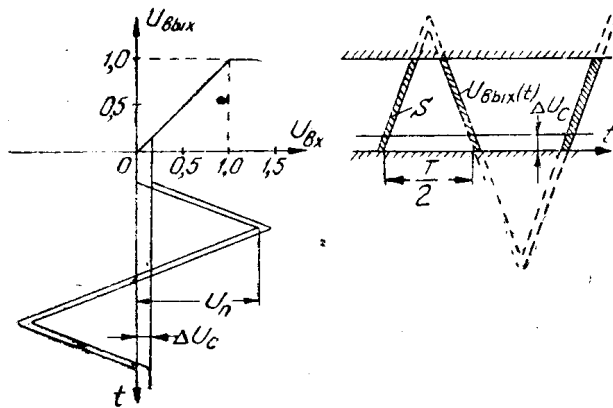


Рис. 3. Характеристика вход—выход однопериодного ППУ с насыщением.

На рис. 4 приведены эквивалентные характеристики вход—выход ППУ для различных величин U_n помехи. В реальном приводе уровень помех $U_n \gg 1$ и эквивалентные характеристики при этом почти линейны.

В соответствии с рис. 3, задаваясь приращением ΔU_c можно найти зависимость величины эквивалентного коэффициента усиления $K = f(U_n)$. Для этого величины заштрихованных площадок S (рис. 3), соответствующих приращению выходного сигнала, следует отнести к времени T периода действия помехи:

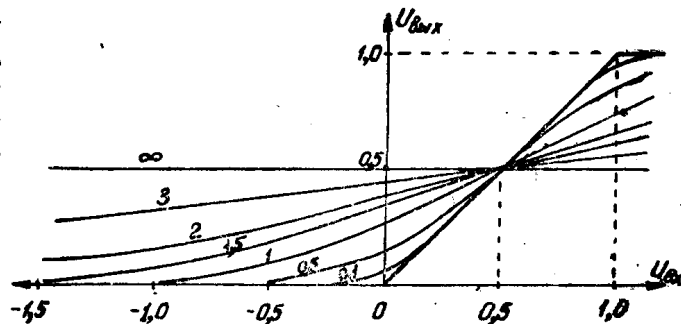


Рис. 4. Эквивалентные характеристики вход—выход при различных величинах помехи.

$$K = \frac{\Delta U_{\text{вых. ср}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = \frac{2S}{\Delta U_c T} = \frac{\left(\frac{T \Delta U_c}{4U_n}\right)}{T \Delta U_c} = \frac{1}{2U_n}. \quad (4)$$

Следовательно, коэффициент усиления ППУ в результате действия помехи и последующего насыщения уменьшается обратно пропорционально амплитуде U_n .

На рис. 5 построены в относительных единицах итоговые зависимости $K = f(U_c, U_n)$. Здесь же приведена исходная характеристика $K = f(U_c)$, при $U_n = 0$ (жирно), построенная согласно выражению (5) [4], справедливому в нашем случае при $U_c > 0$:

$$K = \frac{2}{\pi} \left(\arcsin \frac{1}{U_c} + \frac{1}{U_c} \sqrt{1 - \left(\frac{1}{U_c}\right)^2} \right). \quad (5)$$

Согласно [1] в приводах ПМУП диапазона до 100:1 для обеспечения стабильности скорости вращения при изменении нагрузки, напряжения сети, температуры окружающей среды в процессе работы привода и др. общий коэффициент усиления разомкнутой САР должен

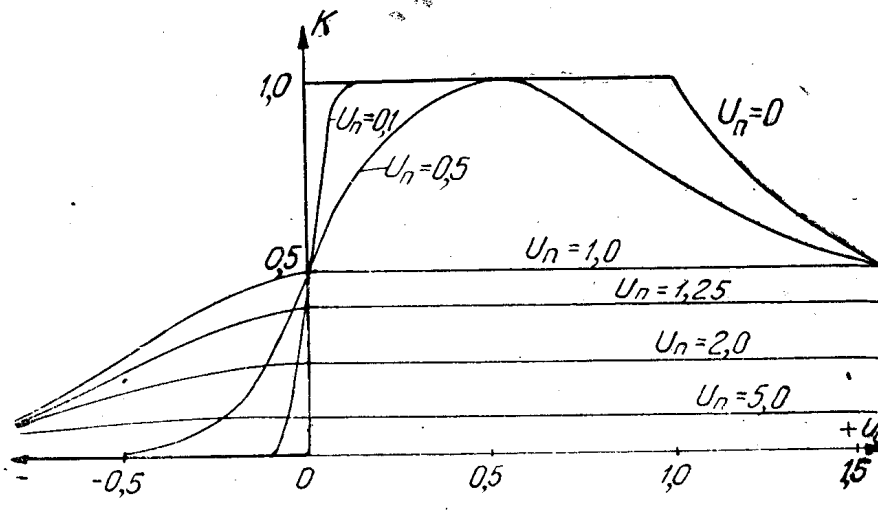


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления ППУ от амплитуды помехи.

быть не менее 1000, а $K_{ппу} = 75 \div 100$. Уменьшение $K_{ппу}$ из-за действия помехи (5 вместо исходных $75 \div 100$) приводит к снижению жесткости статических характеристик, снижению диапазона регулирования скорости и вызывает дополнительные нелинейности характеристик.

Явление детектирования в замкнутой САР помехи проявляется практически в виде нежелательного «самохода» привода (вращению приводного электродвигателя при снятии задающего сигнала). Устранение «самохода» можно достигнуть, например, введением запирающего напряжения U_d (рис. 1), за счет применения дополнительной ступени задатчика скорости, или завышением тока смещения, как это предусмотрено в рассматриваемом ПМУП (400 вместо 250 мА). Последний вариант приводит к дополнительному снижению общего коэффициента усиления и не исключает режима самохода при наличии нагрузки на валу электродвигателя.

При наиболее вероятной неисправности — обрыве входной цепи (щетка тахогенератора, контакт движка задатчика скорости), например, в точке 1, нескомпенсированная помеха может вызвать «разнос» привода, что особо вероятно при параллельном вводе сигнала коррекции (точка 3).

Действие помехи вызывает также искривление статических характеристик [3], приводит к неравномерности статической ошибки, неустойчивой работе привода на низких скоростях и вызывает необходимость регулирования коэффициента усиления САР по диапазону.

С целью оценки динамических свойств МУС при работе его в реальных условиях исследовался переходный процесс при скачке сигнала управления в разомкнутой системе. Для этого во входной цепи ППУ был создан уровень помех частоты 300 гц с амплитудой, соответствующей условиям работы реального привода. В процессе нарастания тока в обмотке управления выходной триод ПТ усилителя перио-

дически переключался помехой. Ток управления I_y при работе ПТ в режиме ключа не может достигнуть установившегося значения за время t_0 открытого состояния ПТ, так как постоянная времени цепи управления $T_{0y} > t_0$. За время t_3 , несмотря на то, что $t_3 < t_0$, I_{0y} значительно снижается, так как постоянная времени цепи управления при открывании ПТ значительно больше, чем при его запирании. Это сказывается на дополнительном увеличении общего времени открывания МУС.

Рассмотренное выше подтверждается сравнением осциллограмм переходного процесса, снятых в разомкнутой САР при скачке сигнала управления без помех на входе ППУ (рис. 6,а) и при наличии помех во входной цепи (рис. 6,б), что соответствует условиям работы реального привода.

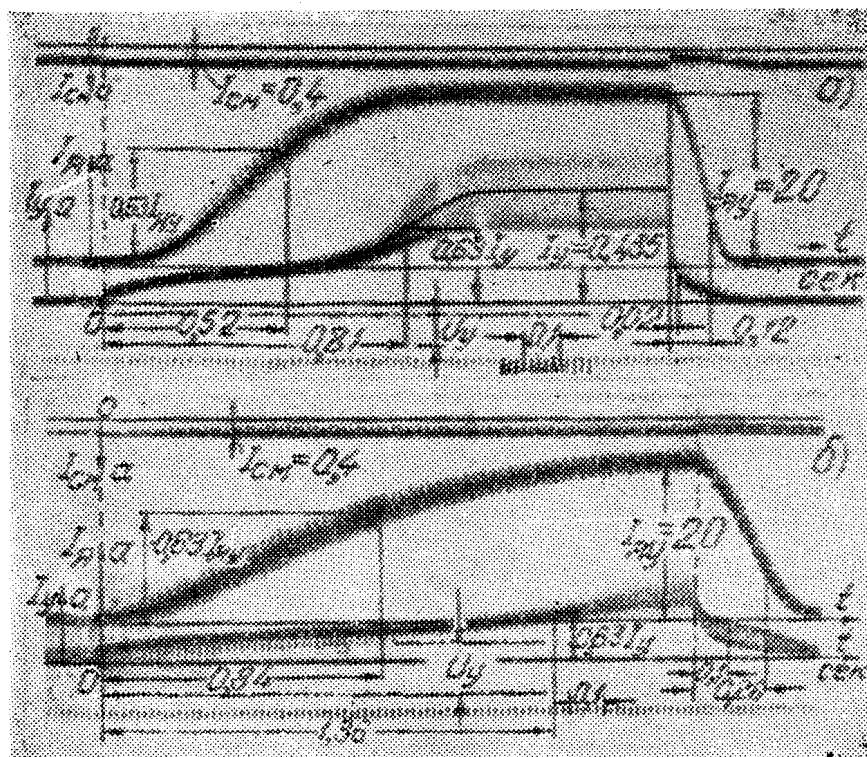


Рис. 6. Осциллограммы переходных процессов в разомкнутой САР:

- а) без помех на входе ППУ,
- б) при наличии помех во входной цепи ППУ.

Улучшение показателей приводов МУС-Д целесообразно вести в двух направлениях: по пути модернизации существующего варианта (улучшения помехозащищенности и надежности работы) и разработки нового варианта привода для более широкого диапазона регулирования скорости исполнительного электродвигателя 200:1 и выше. При этом необходимо исходить из следующих соображений:

- а) действие помехи на закон регулирования должно быть сведено к минимуму;
- б) применение ППУ должно способствовать снижению инерционности силового МУС;
- в) надежность ППУ должна приближаться к таковой МУС, ибо в противном случае утрачивается смысл замены в регулируемых приводах ЭМУ более надежным МУС;

г) элементы ППУ должны быть надежно защищены от влияния перенапряжений, возникающих в ОУ МУС при включении его в сеть.

Снижения эффективности действия помех, поступающей со стороны якоря на вход ППУ, можно достигнуть в принципе улучшением избирательности $R_k C_k$ путем применения простейших RC фильтров. На рис. 2 приведены схемы и амплитудно-фазовые частотные характеристики $R_k C_k$, снятые экспериментальным путем при наличии однозвенного (кривая 2) и двухзвенного (кривая 3) фильтров. Отсюда следует, что их установка снижает чувствительность цепи коррекции к сигналам помехи частотой 300 гц. Причем однозвенный фильтр снижает помехи в два, а двухзвенный в 25 раз. К сожалению, введение фильтров ослабляет эффективность дифференцирующего действия цепи $R_k C_k$ по отношению к основной частоте пропускания САР. Повышения запаса устойчивости вверху диапазона можно достигнуть применением нелинейной стабилизации или регулирования коэффициента усиления САР в функции уставки скорости [3].

Более правильным, на наш взгляд является построение схем МУС-Д с ППУ класса Д с электромагнитной коррекцией [3].

Выводы

1. Пульсирующий характер напряжения на якоре электродвигателя при отсутствии желаемой избирательности у цепи $R_k C_k$ может привести к появлению в законе регулирования САР сигнала «помеха». При наличии насыщения это приводит к детектированию помехи и снижению K_c , искривлению статических характеристик, ухудшению статической точности, и является основной причиной «самохода» и аварийного «разноса» привода.

2. В реальном приводе помеха увеличивает время переходного процесса, снижая быстродействие САР.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Петровский, Я. Б. Розман. Регулируемый электропривод с магнитными усилителями. Энергия, 1964.
2. Я. С. Бровман, Ф. Д. Кочубиевский, А. В. Фельдман. Усилители на полупроводниковых триодах в регулируемом электроприводе. Электричество, № 5, 1962.
3. В. А. Севастьянов, А. П. Инешин. Книга: Системы электропривода с магнитно-проводниковыми преобразователями МУС-Д с ППУ. Приволжское книжное издательство, 1966.
4. Е. П. Попов, И. П. Пальтов. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. Физматгиз, 1960.