

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО УСИЛИТЕЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ

В. П. ЛАГУНОВ, В. М. РИККОНЕН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Электромашинные усилители (ЭМУ) поперечного поля получили широкое применение в практике, в частности в автоматизированном электроприводе. На базе ЭМУ создаются различные системы автоматического управления и регулирования, в которых усилитель выполняет функции усилителя мощности, суммирующего устройства и т. п. Естественно, что свойства ЭМУ оказывают большое влияние на статические и динамические свойства всей системы управления.

Известно, что исследование устойчивости и качества линейных систем не представляет большой сложности; однако при исследовании нелинейных систем трудности возрастают во много раз и могут оказаться непреодолимыми для чисто теоретического анализа.

Существует другой путь решения нелинейных задач — это моделирование на электронных моделях, которое в настоящее время является одним из мощных средств анализа.

В [1] рассмотрена структурная и электронная модель ЭМУ поперечного поля, учитывающая различные гибкие и жесткие внутренние связи, оказывающие заметное влияние на динамические свойства усилителя.

Как видно из рис. 1, при создании модели учитывались нелинейности трех основных характеристик усилителя:

связь а учитывает функцию  $f_2(i_2)$  — нелинейную зависимость намагничивающей силы реакции коммутационных токов поперечной цепи;

связь б учитывает функцию  $f_1(i_2)$  — нелинейную зависимость падения напряжения в щеточном контакте от тока в поперечной цепи;

и, наконец, нелинейность характеристики холостого хода второго каскада учитывается переменным коэффициентом  $S$ .

Переменные коэффициенты  $\varepsilon$  — степень компенсации и  $x$  — смещение поперечных щеток могут варьироваться в пределах нормальных величин и принимаются постоянными при анализе свойств ЭМУ.

В [2] построена граница устойчивости для усилителя ЭМУ-5П при работе его на активно-индуктивную нагрузку; границы устойчивости построены при линейном рассмотрении параметров усилителя в плоскости двух параметров:  $\varepsilon$  — степени компенсации и  $x$  — смещения поперечных щеток.

В данной работе с помощью модели рассматривается влияние отдельных нелинейных параметров (характеристик) на качество переходных процессов при работе усилителя ЭМУ-5П вблизи границы устойчивости.

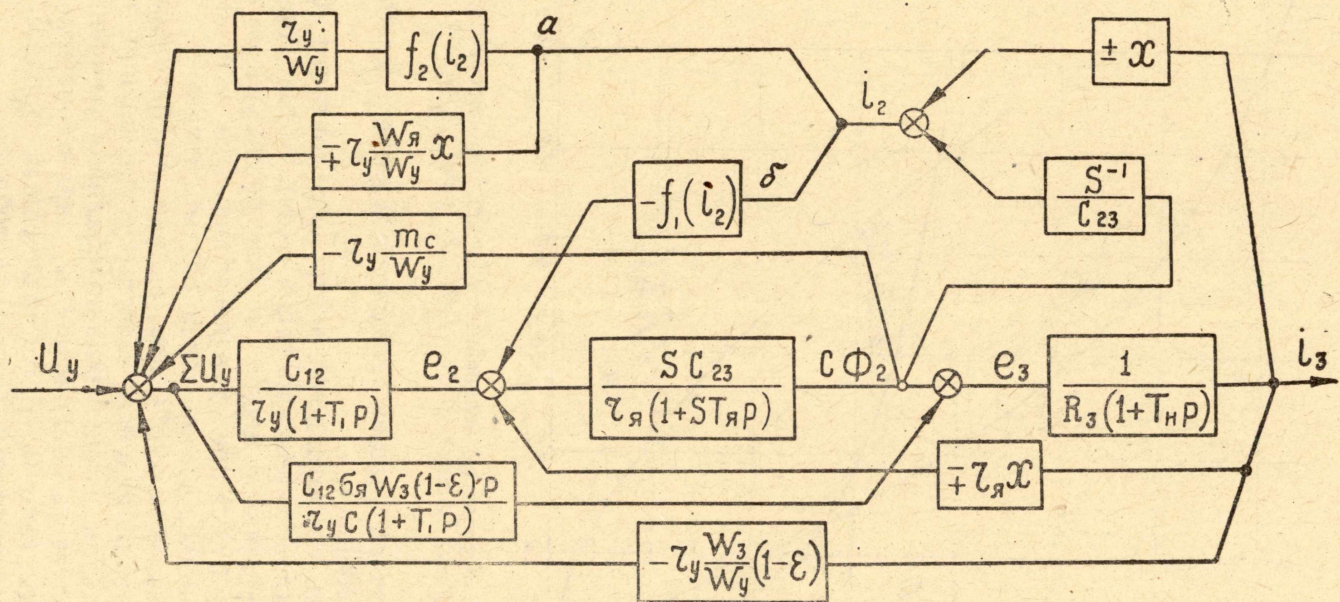


Рис. 1. Функциональная схема ЭМУ при работе его на активно-индуктивную нагрузку

При степени компенсации  $\varepsilon = 0,75$  и относительном смещении щеток поперечной цепи  $x = -0,035$  (знак минус показывает, что смещение щеток произведено против направления вращения якоря), что соответствует сдвигу щеток на 0,5 коллекторного деления, и при допущении линейности всех параметров усилителя наступает переходный

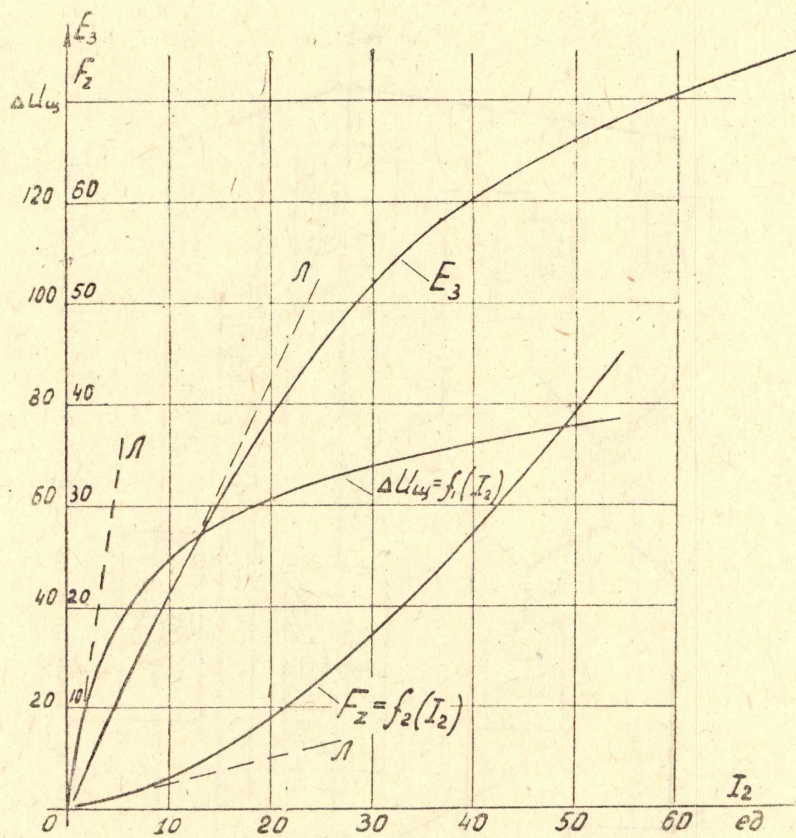


Рис. 2. Основные нелинейности усилителя поперечного поля и их линейризация: 1)  $F_z = f_2(I_2)$ ; 2)  $E_3 = f(I_2)$ ; 3)  $\Delta U_{щ} = f_1(I_2)$

процесс, характеризующий самовозбуждение колебаний (рис. 3, а). Система неустойчива.

Если теперь сопротивление щеточного контакта поперечной цепи считать нелинейной характеристикой  $f_1(i_2)$ , то выходные величины усилителя (ток продольной цепи  $i_3$  и электродвижущая сила на продольных щетках  $e_3$ ) будут представляться рис. 3, б, т. е. имеют вид колебаний, уменьшающихся до определенной амплитуды.

Система также неустойчивая, однако колебательный режим возникает при подаче напряжения в обмотку управления, т. е. это жесткий режим возбуждения, а амплитуда колебаний ограничена.

Если еще учесть нелинейность характеристики холостого хода второго каскада (рис. 3, в), то переходный процесс характеризуется затухающими колебаниями. Система устойчива.

Наконец, если дополнительно учесть нелинейность реакции коммутационных токов поперечной цепи (рис. 3, г), то переходный процесс характеризуется затухающими колебаниями до определенной амплитуды (табл. 1).

Из приведенных осциллограмм видно, что линейризация реакции коммутационных токов вносит фиктивный запас устойчивости (переход от рис. 3, г к рис. 3, в). Этот вывод необходимо иметь в виду при рас-

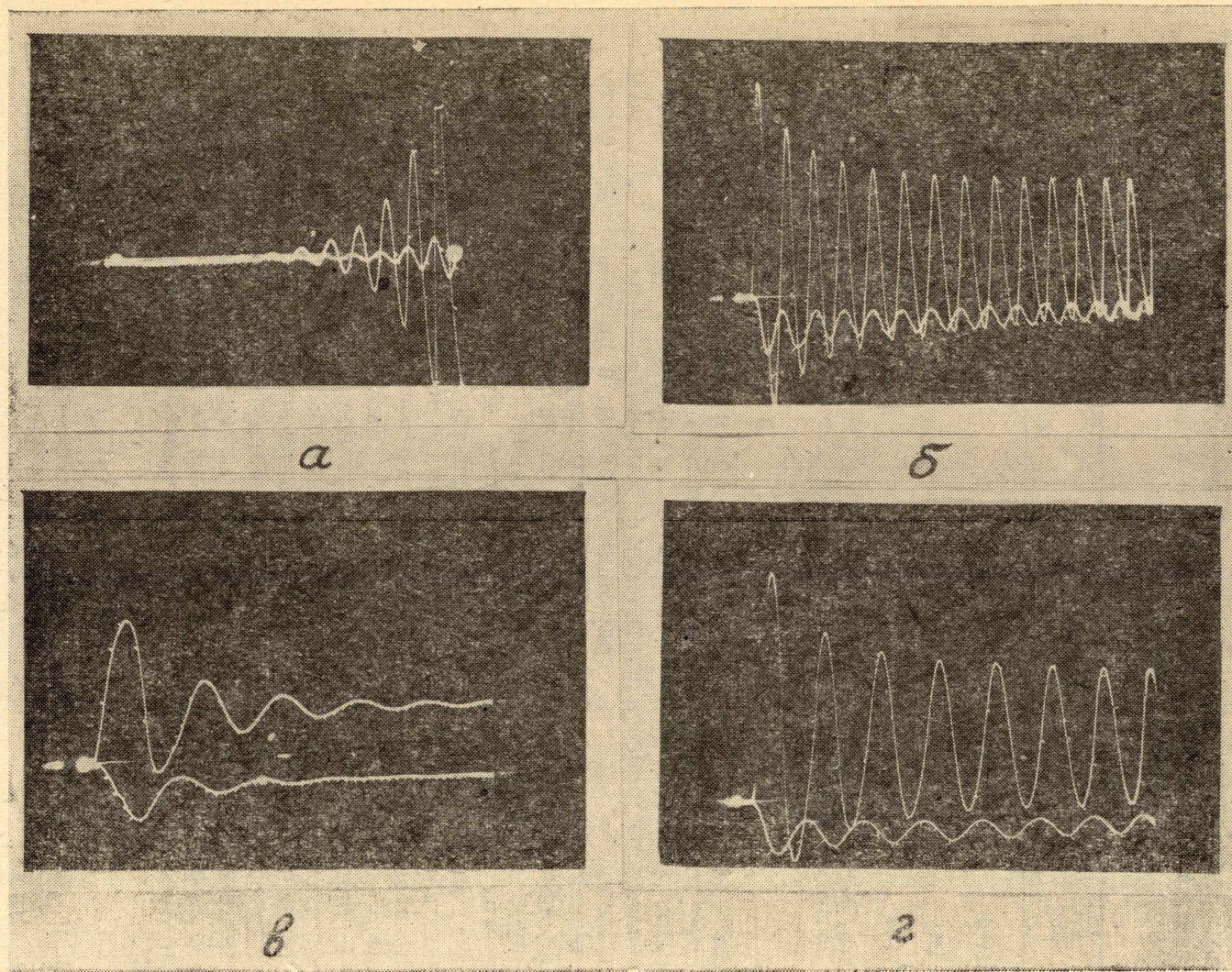


Рис. 3. Кривая напряжения (верхняя кривая) и тока (нижняя кривая) цепи нагрузки при  $\epsilon = 0,75$ ;  $x = -0,035$

чете электромашинного усилителя или при анализе устойчивости системы регулирования. Действительно, если принять реакцию коммутационных токов линейной при  $\epsilon = 0,75$  и  $x = -0,035$ , то работа усилителя (рис. 3, в) устойчива, в то время как в реальном усилителе (при учете всех основных нелинейностей) наблюдается режим периодических движений, т. е. наступают колебания с определенной амплитудой и частотой (рис. 3, г). Такое состояние можно считать критическим, когда усилитель работает фактически на границе устойчивости. Наоборот, линеаризация характеристики холостого хода (переход от рис. 3, в к рис. 3, б) делает систему неустойчивой.

Таблица 1

№ рис.	2, а	2, б	3, в	2, г
$F_z = f_2(i_2)$	Л	Л	Л	Н
$E_3 = f(i_2)$	Л	Л	Н	Н
$\Delta U_{\text{ш}} = f_1(i_2)$	Л	Н	Н	Н
Характер переходного процесса	Самовозбуждающиеся колебания	Затухание колебаний до определенной амплитуды	Затухающие колебания	Затухающие колебания до определенной амплитуды

Необходимо отметить также то, что при принятии реакции коммутационных токов и характеристики холостого хода второго каскада линейными (рис. 3, б) и, соответственно, нелинейными (рис. 3, г) качество переходного процесса фактически не меняется.

Это можно объяснить следующим образом: в реальном усилителе размагничивающее действие реакции коммутационных токов меньше, чем в идеализированном; это приводит к увеличению э. д. с.  $e_3$  и компенсации ее уменьшения вследствие насыщения.

По этой причине влияние нелинейностей этих двух зависимостей в какой-то мере компенсируется и на характер переходного процесса оказывает влияние только нелинейность сопротивления щеточного контакта поперечной цепи. Конечно, этот вывод не может быть общим. Он справедлив для определенного диапазона работы усилителя ( $\epsilon$  и  $x$ ) и метода линеаризации. Однако важно установить влияние отдельных нелинейностей на характер переходного процесса, а также их совместное влияние при некотором сочетании характеристик.

Таким образом, подбирая нелинейные внутренние характеристики электромашинного усилителя, мы можем изменять не только внешние статические его характеристики, но и изменять характер устойчивости, что отчетливо проявляется при критических параметрах настройки ЭМУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Лагунов, В. М. Рикконен. Электронная модель электромашинного усилителя поперечного поля с его внутренними обратными связями, Известия ТПИ, том 132, 1965.

2. В. П. Лагунов, В. М. Рикконен. К вопросу об устойчивости работы электромашинного усилителя с поперечным полем. МВ и ССО РСФСР, Межвузовский сборник трудов, вып. 3, Новосибирск, 1963.