УДК 621.92

Я.И.ПЕШЕВ
Самарский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРАХ СКОРОСТИ

Описаны основные критерии и параметры настройки систем подчиненного регулирования. Приведено описание конструктивного исполнения лабораторного стенда, результаты практических исследований показателей качества электропривода, дан сравнительный анализ типовых регуляторов скорости и выбран наиболее эффективный.

Basic criteria and parameters of tuning inferior controlling systems are described. A description of the laboratory bench design is given as well as the results of studying indexes of electric drive quality and a comparative analysis of model speed regulators, one of them being chosen as the most effective.

Автоматизированный электропривод – сложное электромеханическое устройство, которое является неотъемлемой частью любого современного производства.

Широкое распространение получили вентильные электроприводы постоянного тока, выполненные по схеме системы подчиненного регулирования (СПР) с последовательно включенными регуляторами, оптимизированными по быстродействию в них переходного процесса. В этом случае оптимизированные контуры настраиваются на технический или симметричный оптимумы.

Основными достоинствами многоконтурных систем автоматического управления (САУ) являются высокая точность реализации желаемых передаточных функций, унификация схемных решений, простота наладки и эксплуатации электроприводов и возможность ограничения регулируемых координат системы.

Структурная схема линеаризованной модели СПР, справедливая при типовых допущениях*, приведена на рисунке.

Динамические свойства двигателя постоянного тока на этой схеме без учета действия внутренней обратной связи по ЭДС двигателя отражены звеньями

$$W_{д1}(p)=\frac{I_{я}(p)}{E_{вп}(p)}=\frac{1}{R_{я}(T_{я}P+1)};$$

$$W_{д2}(p)=\frac{\omega(p)}{I(p)};\ \ I(p)=I_{я}(p)-I_{с}(p),$$

где $W_{рс}(p)$ и $W_{рт}(p)$ – передаточные функции регулятора скорости и регулятора тока, соответственно.

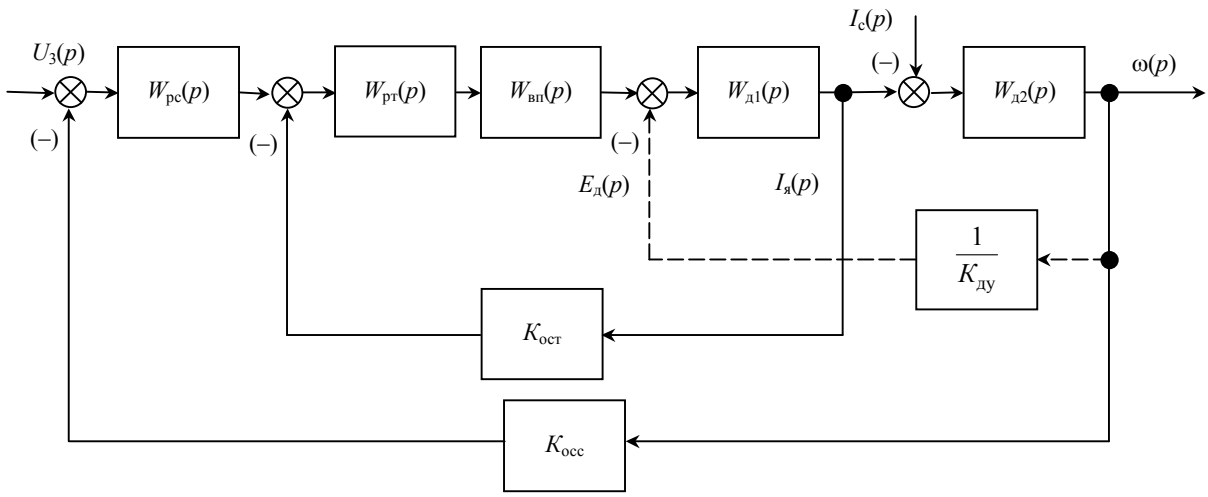
Вентильный преобразователь приближенно описывается передаточной функцией апериодического звена:

$$W_{вп}(p)=\frac{E_{вп}(p)}{U_{рт}(p)}=\frac{K_{вп}}{T_{вп}P+1}.$$

В зависимости от режимов, в которых работает электропривод, система регулирования скорости может выполняться однократно, либо двукратно интегрирующей. В первом случае регулятор скорости имеет пропорциональную характеристику, а во втором – пропорционально-интегральную. Поскольку в обоих случаях регулятор тока содержит интегральную часть, обе системы регулирования скорости являются астатиче-

* *Ключев В.И.* Теория электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.

Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока. М.: Энергия, 1972. 136 с.



Структурная схема линеаризованной модели СПР

скими по заданию. Однако симметричный оптимум применяют при резких изменениях внешней нагрузки.

Выбор типа настройки замкнутого контура САУ и в целом структуры системы определяются требованиями, предъявляемые к статическим и динамическим показателям качества. Требуемая передаточная функция регулятора $W_{рег}(p)$, удовлетворяющая упомянутым требованиям, определяется по желаемой передаточной функции разомкнутой системы $W_{рж}(p)$ по следующему соотношению:

$$W_{рег}(p) = \frac{W_{рж}(p)}{W_{рн}(p)},$$

где $W_{рн}(p)$ – передаточная функция разомкнутого нескорректированного контура.

Для решения этой задачи была разработана и изготовлена лабораторная установка по схеме, показанной на рисунке. Лабораторный стенд содержит: электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением, тиристорный преобразователь, нагрузочную машину (генератор постоянного тока), устройство выбора типа регулятора скорости, мощный источник постоянного тока, комплект измерительной аппаратуры. Внутренний контур призван ограничивать ток в якорной цепи электродвигателя при разгоне или изменении внешней нагрузки.

Лабораторная установка работает в двух режимах: идентификация электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения как объекта управления и исследование автоматической системы стабилизации скорости, построенной по идеологии СПР.

В лабораторной установке использованы электродвигатель типа ПСТ-41 мощностью 0,25 кВт совместно с генератором ПСТ-42 мощностью 0,37 кВт. Кривая разгона не имела перерегулирования и, следовательно, могла быть аппроксимирована экспонентой. Отсюда можно заключить, что передаточная функция электромеханической части электродвигателя должна иметь вид апериодического звена:

$$W_{д2}(p) = \frac{\omega(p)}{I(p)} = \frac{R_я K_{ду}}{(T_м P + 1)}.$$

Во втором режиме можно последовательно исследовать показатели качества САУ при П, ПИ и ПИД типовом регуляторе скорости при вариации ее параметров. Изменение параметров звеньев САУ двигателя осуществляется включением нагрузочной машины, которая увеличивает как момент инерции, так и внешнюю нагрузку.

Вариация указанных параметров показала, что можно получить переходный процесс изменения скорости при отработке в СПР скачкообразного управляющего воздей-

ствия с показателями $t_{пп} = 0{,}13$ с, $\sigma = 10$ % применив П-регулятор скорости. Величина статической ошибки на нижнем пределе диапазона регулирования ($\omega_{ниж} = 20$ рад/с), при токе в якорной цепи $I_{яц} = I_{ном}$ составила $\Delta\omega \approx 5$ %.

ПИ-регулятор с параметрами настройки на технический оптимум позволяет уменьшить перерегулирование до значения $\sigma = 4{,}5$ %, время переходного процесса составило $t_{пп} = 0{,}07$ с. Наличие в указанном типе регулятора интегральной составляющей придает системе стабилизации скорости астатические свойства, т.е. величина статической ошибки практически равна нулевому значению во всем диапазоне регулирования.

ПИД-регулятор в контуре скорости компенсирует электромеханическую постоянную времени электродвигателя и постоянную времени замкнутого токового контура, что приводит к помехонезащищенности системы. Поэтому для нормальной работы САУ с ПИД-регулятором необходимо вводить в цепь обратной связи дополнительный апериодический фильтр с передаточной функцией:

$$W_{ф}(p) = \frac{1}{T_{ф}P + 1},$$

где $T_{ф}$ – малая некомпенсируемая постоянная времени.

Величина перерегулирования составила $\sigma = 4{,}5$ %, время переходного процесса $t_{пп} = 0{,}06$ с.

Проводя сравнительный анализ полученных практических результатов, можно заключить, что если к электроприводу не предъявляется жестких требований относительно величины перерегулирования и статической ошибки, можно использовать в качестве регулятора скорости П-регулятор, например, при использовании привода в насосных или транспортировочных механизмах. Определенным достоинством П-регулятора является его простота и удобство наладки, достаточно лишь варьировать величину сопротивления в цепи обратной связи операционного усилителя, получая наиболее оптимальные показатели качества переходного процесса замкнутой САУ.

Использование ПИД-регулятора скорости в данном электроприводе нецелесообразно, так как это не приводит к существенному увеличению быстродействия, которое ограничено коммутационными процессами в щеточно-коллекторном узле электродвигателя и требует введения дополнительных корректирующих цепей.

Для получения наиболее оптимального переходного процесса (технический оптимум) при использовании привода в качестве привода подачи металлорежущих станков с формированием сигнала задания от устройства ЧПУ или в высококачественных следящих системах наиболее эффективным является ПИ-регулятор скорости.

Научный руководитель д.т.н. проф. *В.Е.Лысов*