

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.3

А. Е. Наумец, Р.С. Таганов, Г. М. Мирясов, В. Г. Титов

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

ОАО «Газпромавтоматизация»,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Целью работы является проектирование схемы управления электромагнитного подшипника для газодувки мощностью 16 МВт с различными вариантами регуляторов: ПИ-регулятором, релейный регулятор, релейный регулятор, работающим в скользящем режиме. Для расчета регулятора использовали метод передаточных функций. Показано, что наиболее рациональным является построение контура тока ЭМП с релейным регулятором, работающим в скользящем режиме.

Ключевые слова: электромагнитный подшипник приводных двигателей, релейный регулятор, работающей в скользящем режиме, пропорционально-интегральный регулятор.

Основными потребителями энергоресурсов в газовой промышленности являются газотранспортные предприятия (табл. 1). Это связано с главной особенностью магистрального транспорта газа – при прохождении газа по трубопроводу возникает трение потока о стенку трубы, что вызывает потерю давления. Например, при расходе газа 90 млн м³/сут по трубе \varnothing 1420 мм давление убывает с 7,6 до 5,3 МПа на участке $L = 110$ км. Поэтому транспортировать природный газ в достаточном количестве и на большие расстояния только за счет естественного пластового давления невозможно.

Таблица 1

Подотрасли	Потенциал энергозатрат
Транспорт газа	69,7 %
Распределение газа	7,5 %
Электротеплоснабжение	7,5 %
Добыча газа, конденсата, нефти	7,0 %
Переработка газа	4,6 %
Подземное хранение газа	3,5 %
Бурение и капремонт скважин	0,2 %

Повышение давления газа на компрессорных станциях (КС) осуществляется в одну, две и три ступени с помощью поршневых или центробежных нагнетателей, приводом которых могут служить электродвигатели, поршневые двигатели внутреннего сгорания и газотурбинные установки различных типов.

Оптимальный режим эксплуатации магистрального газопровода заключается в максимальном использовании его пропускной способности (газоподачи) при минимальных энергозатратах на компримирование, охлаждение и транспортировку. В значительной степе-

ни этот режим определяется работой компрессорных станций, устанавливаемых по трассе газопровода через каждые 100-150 км. Длина линейных участков между компрессорными станциями рассчитывается исходя из величины падения давления газа на одном участке не более чем на 1.6-2.5 МПа, а также из привязки станции к населенным пунктам и источникам электроэнергии. Оптимальная работа компрессорных станций зависит от типа и числа газоперекачивающих агрегатов, установленных на станции, их энергетических показателей и технологических возможностей.

Режим работы современного газопровода, несмотря на наличие станций подземных хранилищ газа, характеризуется неравномерностью подачи и потребления газа в течение года, месяца. Оборудование и обвязка компрессорной станции приспособлены к переменному режиму работы магистрального газопровода, но это приводит к снижению загрузки газоперекачивающего агрегата и перерасходу энергопотребления из-за отклонения от оптимального КПД.

В настоящее время одним из направлений в совершенствовании, повышении надежности и экономической эффективности газоперекачивающих агрегатов является применение электромагнитных подшипников приводных двигателей и газовых нагнетателей.

В работе, на примере газового нагнетателя мощностью 16 мВт перекачивающей станции «Помарская» газопровода «Уренгой – Помары – Ужгород», рассматриваются вопросы построения цифровой системы управления радиальным и осевым электромагнитными подшипниками (ЭМП). Рабочие зазоры между статором и ротором нагнетателя составляют 0.1 мм при весе ротора нагнетателя около одной тонны.

Система регулирования может быть двухконтурная и трехконтурная.

В разомкнутом состоянии система является неустойчивой. Постоянная времени внутреннего контура тока достаточно велика (~ 50 мс), что приводит к необходимости большой форсировки по источнику питания.

Силовая схема полупроводникового преобразователя, обеспечивающего регулирование тока электромагнита подшипника, представлена на рис. 1.

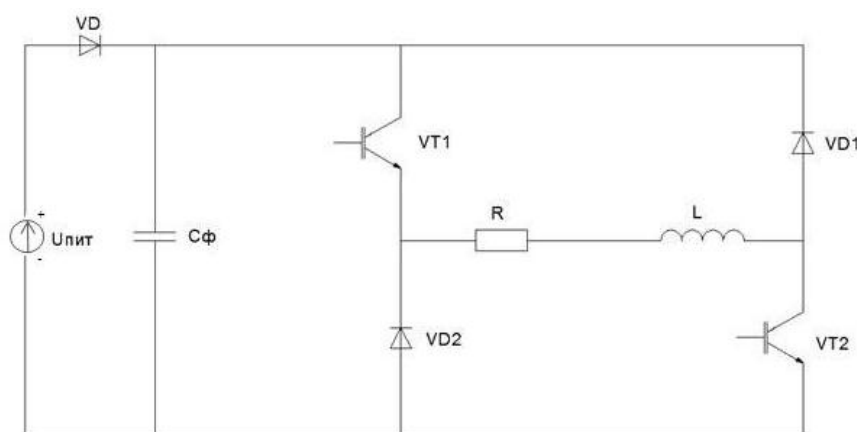


Рис. 1. Схема питания обмотки электромагнита

Здесь в качестве коммутирующих элементов применены IGBT транзисторы, работающие в режиме широтно-импульсной модуляции с несущей частотой 1-2 кГц. Контур регулирования тока в общем случае может быть представлен рис. 2.

При этом постоянная времени T_{Σ} электромагнита не постоянна и зависит от величины зазора между статором и ротором ЭМП.

Преобразователь представлен как апериодическое звено первого порядка. Здесь $T_{п1}$ - малая постоянная времени преобразователя, определяемая несущей частотой, $K_{п1}$ - коэффициент передачи. В соответствии со структурной схемой объект представляет собой два последовательно соединенных апериодических звена с малой ($T_{п1}$) и большой (T_{Σ}) постоянными времени.



Рис. 2. Структурная схема контура тока ЭМП

Рассмотрим три варианта построения регулятора тока:

- пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор;
- релейный регулятор;
- релейный регулятор, работающий в скользящем режиме.

В первом случае для определения параметров ПИ регулятора используется модульный оптимум.

Передаточная функция регулятора равна:

$$W_{пт}(s) = K_{pm} \cdot \frac{(1+T_0s)}{T_0s},$$

где $K_{pm} = \frac{R_э \cdot T_э}{2T_\mu \cdot K_{тп} \cdot K_{дт}}$ - пропорциональное звено; $\frac{(1+T_0s)}{T_0s}$ - изодромное звено.

С таким регулятором контур тока является астатическим как по заданию, так и по возмущению.

Перерегулирование при оптимизации на модульный оптимум составляет 4.3%.

Переходный процесс изменения тока в ЭМП при набросе задания представлен кривой I (рис. 3).

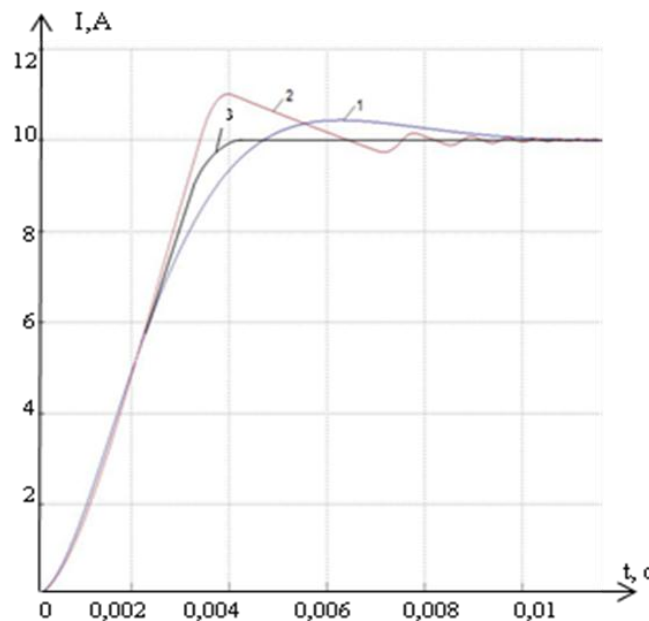


Рис. 3. Кривые переходных процессов тока ЭМП при различных регуляторах тока:

1 - ПИ регулятор; 2 - релейный регулятор; 3 - релейный регулятор, работающий в скользящем режиме

Релейный регулятор контура тока характеризуется "петлей гистерезиса", в ряде случаев определяющей характер переходного процесса. Структурная схема контура тока ЭМП представлена на рис. 4.

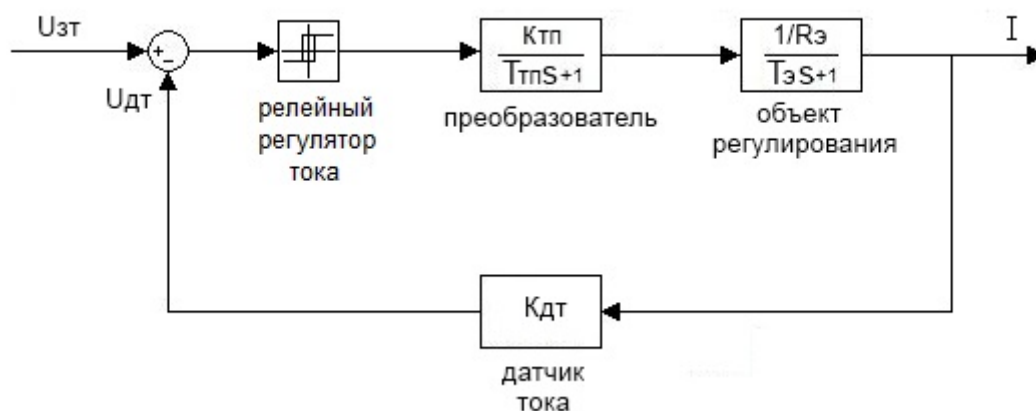


Рис. 4. Структурная схема контура тока ЭМП с релейным регулятором

Такой регулятор обеспечивает более высокое быстродействие, но процесс изменения тока имеет достаточно яркий колебательный характер. При этом характер переходного процесса определяется максимальным напряжением источника питания, шириной петли гистерезиса регулятора и постоянной времени $T_{тп}$. Кривая переходного процесса при скачке задания представлена кривой 2 (рис. 3), которая имеет большие перерегулирование и колебательность, чем при модульном оптимуме.

Релейный регулятор, работающий в скользящем режиме, структурная схема которого представлена на рис. 5, обеспечивает наиболее оптимальный с точки зрения быстродействия и перерегулирования переходный процесс (кривая 3, рис. 3).

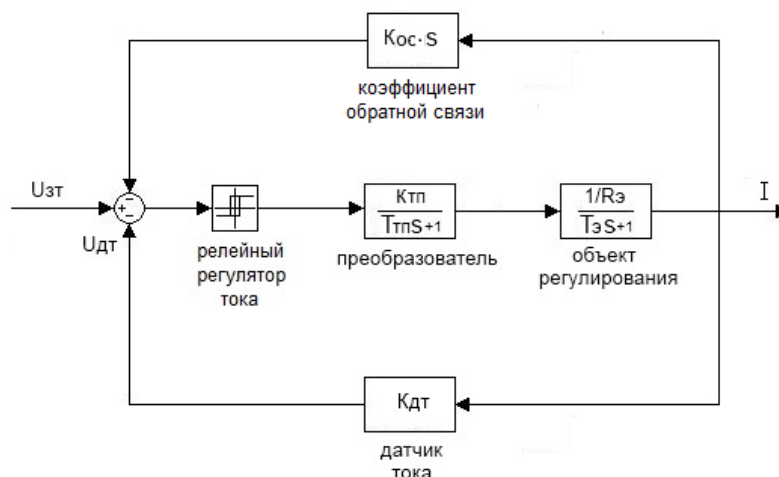


Рис. 5. Структурная схема контура тока с релейным регулятором, работающим в скользящем режиме

Режим скольжения обеспечивается гибкой обратной связью по регулируемому параметру, что позволяет иметь на последнем этапе переходного процесса аperiodический характер изменения тока. Оптимизация этого режима определяется не только петлей гистерезиса и несущей частотой коммутации силового блока, но и глубиной обратной связи (K_{oc}).

Таким образом, проведенный анализ показывает, что наиболее рациональным является построение контура тока ЭМП с релейным регулятором, работающим в скользящем режиме.

Библиографический список

1. Журавлев, Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение / Ю.Н. Журавлев. – СПб.: Политехника, 2003. – 206 с.
2. Абдурагимов, А. С. Опыт применения магнитных подшипников в компрессорах ГПА / А.С. Абдурагимов, А. В.Носков, А. П. Сарычев // Потребители производители компрессоров и компрессорного оборудования: тр. 15-го Международного симпозиума. – СПб., 2010. – 128 с.

*Дата поступления
в редакцию 10.12.2013*

A.E. Naumets, R.S. Taganov, A.N. Kuzmenkov, G.M. Miryasov, V.G. Titov

OPTIMIZATION OF CURRENT CONTROL CIRCUIT OF ELECTROMAGNETIC BEARING

LLC "Gazpromavtomatizatsiya",
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: construction of the current control circuit of the electromagnetic bearing for gas blower with the capacity of 16 MW with various embodiments of the regulators: PI controller, relay and relay operating in sliding mode.

Methodology : to calculate the regulator used the method of transfer functions . The analysis of the impact of various types of the regulators on the quality of the transition process in the current loop . It is shown that the best performance in speed and overshoot has a relay regulator operating in sliding mode .

Results: the results of modeling of electromagnetic bearing control system to a step change at the input. The results are used in the construction of the control system electromagnetic bearing blower pumping unit at the compressor station "Pomarskaya".

Key words: electrmagnetic bearing, relay operating, optimizatijn of the current loop, cjntrol sistem.