

при расчёте их параметров. Представленные исследования выполнены для контуров регулирования положения и скорости электропривода с упругой связью. Однако, подвергнутые анализу уравнения скольжения связывают канонические координаты релейной системы, что позволяет распространить положительный результат проверки устойчивости на контуры четвертого и пятого порядка с любой структурой объектов управления, которая допускает синтез данным методом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А.В. Оптимизация по быстродействию режима малых перемещений двухмассовой электромеханической системы методом N-i переключений на подвижных границах области / А.В.Садовой, А.Л.Дерец // Электротехнические и компьютерные системы: науч.-техн. журнал Одесского национального политехнического университета. – К.: Техника. – 2011. – С.89-91.
2. Садовой А.В. Синтез методом N-i переключений релейной системы четвертого порядка без внутренних ограничений / А.В.Садовой, А.Л.Дерец // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного техн. ун-та (технические науки). – Днепродзержинск. – 2008. – Выпуск 1(9). – С.167-171.
3. Садовой А.В. Оптимизация по быстродействию методом N-i переключений режимов малых перемещений позиционного электропривода / А.В.Садовой, А.Л.Дерец // Вестник КГПУ. – Кременчуг. – 2007. – Выпуск 3/2007 (44). – С.15-17.
4. Юревич Е.И. Теория автоматического управления / Юревич Е.И. – Л.: Энергия, 1969. – 375с.:ил.

*Поступила в редколлегию 19.03.2012.*

УДК 621.316.72/088.8

КАРАЧУНСКИЙ П.Ш., к.т.н, доцент  
ЧЕРНОИВАН В.П., к.т.н, доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

### **БЕСКОНТАКТНЫЕ АВТОМАТЫ ГАШЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ**

**Введение.** В современных синхронных электроприводах, оборудованных электромашинными или тиристорными системами возбуждения, автоматическое гашение поля цепи возбуждения (АГП) чаще всего реализуется путем введения в строго определенное время в цепь индуктора разрядного резистора.

Достаточно быстрый физический износ электромашинных возбудителей и присутствующие им серьезные недостатки, а также низкая эффективность указанного метода гашения поля обусловили широкое внедрение тиристорных систем возбуждения с соответствующими устройствами АГП. Распространенная система возбуждения с инвертированием тиристорного возбудителя в процессе гашения поля требует усложнения силовой схемы и цепей управления преобразователем. Кроме того, в режиме короткого замыкания при глубокой посадке или полном исчезновении напряжения указанные системы возбуждения не обеспечивают режим форсированного гашения поля из-за отсутствия коммутирующей э.д.с. или значительного снижения тока тиристорного возбудителя. Быстродействие таких систем ограничивается периодическим или линейным характером изменения тока в контуре гашения поля.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является повышение быстродействия системы гашения магнитного поля синхронной машины за счет обменных энергопроцессов между э.д.с. обмотки возбуждения и конденсатором АГП.

**Результаты работы.** Свободным от недостатков известных систем АГП является предлагаемая система разработанного бесконтактного автомата гашения поля (БАГП) с емкостным прерыванием тока тиристорного возбудителя. Такой автомат позволяет реализовать аperiodический, линейный или колебательный процесс изменения тока в контуре гашения. Один из вариантов тиристорной системы возбуждения синхронного двигателя с БАГП представлен на рис.1. Пусковые режимы синхронного двигателя MS обеспечивает пускозащитная цепь, состоящая из разрядного резистора  $R_2$ , пуско-защитного диода VD1 и тиристора VS2, управление которым производится в функции э.д.с. скольжения ротора через диод VD2 и группу стабилитронов VD6.

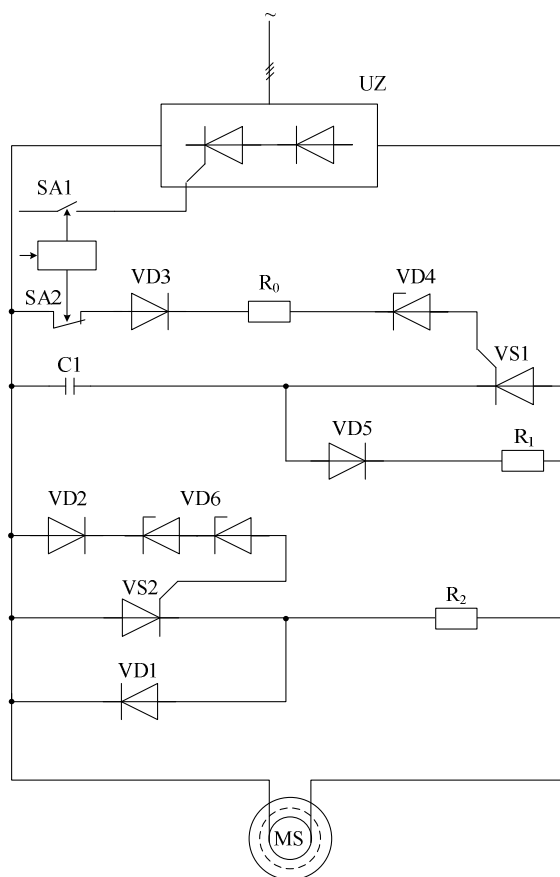


Рисунок 1 – Схема синхронного двигателя с автоматом гашения поля

Режим форсированного гашения поля возбуждения двигателя обеспечивает бесконтактный автомат, в состав которого входят коммутирующий конденсатор  $C1$  и гасящий тиристор  $VS1$ , управление которым производится от предварительно заряженного конденсатора  $C1$  через ключ  $SA2$  и токоограничивающую цепочку: стабилитрон  $VD4$ , диод  $VD3$ , резистор  $R_0$ . Зарядный диод  $VD5$  и токоограничивающий резистор  $R_1$  обеспечивают предварительный заряд коммутирующего конденсатора напряжением необходимой величины и полярности при асинхронном пуске машин и при ее синхронизации от тиристорного возбудителя  $UZ$ . Блок управления гасящим тиристором (БУГТ) кроме ключа  $SA2$  управляет еще ключом  $SA1$ , который снимает импульсы управления с  $UZ$ .

В режиме форсированного гашения поля по команде, поступающей на блоке управления гасящим тиристором (БУГТ), снимается управление с  $UZ$ , а ключом  $SA2$  включается гасящий тиристор  $VS1$ . При включении  $VS1$  встречным напряжением коммутирующего конденсатора запирается тиристорный возбудитель. Одновременно про-

исходит колебательный разряд конденсатора на обмотку возбуждения машины, что приводит к форсированному снижению тока в контур гашения. Перезаряженный конденсатор положительным потенциалом запирает VS1 и разряжается через VD5 и R<sub>1</sub> на обмотку возбуждения. Распределение тока по контурам и характер переходного процесса (апериодический или колебательный) зависит от параметров схемы.

Экспериментальные исследования режимов работы БАГП проводились на физической модели электропривода (рис.1) с синхронной машиной.

В общем случае принимаемые допущения позволяют описать процесс при помощи линейных дифференциальных уравнений. Расчетная схема процесса гашения поля при колебательном режиме представлена на рис.2. Для этой схемы исходное уравнение цепи на интервале проводимости тиристора VS1 имеет вид:

$$L_f \frac{di_f}{dt} + i_f R_f + \frac{1}{C_1} \int i_f dt = U_0, \quad (1)$$

где L<sub>f</sub>; R<sub>f</sub> – индуктивность и активное сопротивление обмотки возбуждения, U<sub>0</sub> – начальное напряжение конденсатора.

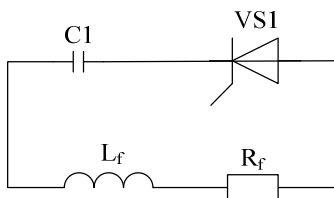


Рисунок 2 – Расчетная схема процесса гашения поля

Дифференциальное уравнение для рассматриваемого интервала времени с учетом начальных условий в операторной форме может быть представлено в следующей форме:

$$L_f \cdot p \cdot I(p) - L_f \cdot I_0 + I(p) \cdot R_f + \frac{1}{C_p} \cdot I(p) = \frac{U_0}{p}, \quad (2)$$

где I<sub>0</sub> – ток в обмотке возбуждения до начала процесса гашения поля.

После преобразования уравнение в операторной форме принимает вид

$$I(p) \cdot (p^2 + 2\beta p + \omega_0^2) = \frac{U_0}{L_f} + I_0 \cdot p, \quad (3)$$

где  $\beta = \frac{R_f}{2L_f}$ ;  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_f \cdot C_1}}$ .

Операторный ток определяется выражением

$$I(p) = \frac{I_0 \left( \frac{U_0}{I_0 \cdot L_f} + p \right)}{p^2 + 2\beta p + \omega_0^2}. \quad (4)$$

При комплексно-сопряженных корнях характеристического уравнения оригинал тока определяется выражением

$$I_f = \frac{I}{\sigma} \sqrt{\left( \frac{U_0}{I_0 \cdot L_f} - \beta \right)^2 + \sigma^2} \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\sigma t + \varphi), \quad (5)$$

где  $\sigma = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ;  $\varphi = \arctg \frac{\sigma}{\frac{U_0}{L_f \cdot I_0} - \beta}$ .

Напряжение обмотки возбуждения

$$U_f = L_f \frac{di_f}{dt} + i_f R_f. \tag{6}$$

С учетом выражения для оригинала тока имеем

$$U_f = \frac{L_f \cdot I_0 \cdot \omega_0}{\sigma} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{I_0 \cdot L_f} - \beta\right)^2 + \sigma^2} \cdot \sin(\sigma t + \varphi + \Psi), \tag{7}$$

где  $\Psi = \arctg \frac{\sigma}{\beta}$ .

При достижении токoм  $i_f$  нулевого значения тиристор VS1 запирается, а перезаряд конденсатора происходит через диод VD5 (рис.3).

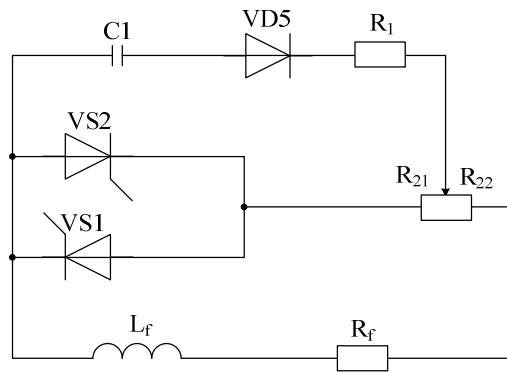


Рисунок 3 – Схема перезаряда конденсатора

Для этого интервала времени переходный процесс описывается уравнением

$$L_f \frac{di_f}{dt} + (R_f + R)i_f + \frac{1}{C_1} \int i_f dt = U_C(t_0), \tag{10}$$

где  $R=R_1+R_{22}$  – сопротивление контура;  $U_C(t_0)$  –напряжение на конденсаторе после перезаряда.

В операторной форме уравнение принимает вид

$$L_f \cdot p \cdot I(p) + (R_f + R)I(p) + \frac{I(p)}{C_1 \cdot p} = \frac{U_C(t_0)}{p}. \tag{11}$$

Вводя обозначения  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_f \cdot C_1}}$  и  $\gamma = \frac{R+R_f}{2L_f}$ , получим следующее решение

при комплексно-сопряженных корнях характеристического уравнения:

$$i_f = \frac{U_C(t_0)}{L_f \cdot \rho} \cdot e^{-\gamma t} \cdot \sin \rho t, \tag{12}$$

где  $\rho = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$ .

**Выводы.** Опытные-промышленные испытания БАПП были проведены на синхронном двигателе СДСЗ 2000-100 шаровой мельницы 1А тракта топливоприготовления Криворожской ГРЭС-2 с номинальными данными: мощность 2000 кВт, напряжение и ток статора 6000 В, 229 А, ток ротора 210 А, напряжение ротора 188 В. Тиристорный возбудитель машины – трехфазный мостовой, несимметричный, согласующий трансформатор типа ТСЗ 50/05 мощностью 50 кВА.

Параметры бесконтактного автомата гашения поля:

коммутирующий конденсатор		КМ2-0,66
емкость одного элемента, мкФ		200
число элементов, шт	5	
рабочее напряжение, В		660
гасящий тиристор		T630
зарядный диод		V320
зарядный резистор, Ом		1,05;
параметры пускозащитной цепи:		
тиристор		T630
диод		V500
разрядный резистор, Ом		5.

Проведение испытания в режиме эксплуатационного отключения двигателя при внезапном исчезновении напряжения дали положительные результаты.

Вид процессов гашения поля в предложенной системе определяется не только параметрами элементов, но и схемным решением, обеспечивающим пусковой режим во время асинхронного разгона машины. Для упрощения анализа переходного процесса гашения магнитного поля примем следующие допущения: в схеме используются идеальные тиристоры, индуктивность контуров коммутации носит линейный характер, влияние демпферных контуров и насыщения магнитной цепи синхронной машины не учитывается.

Напряжение на обмотке возбуждения для этого интервала времени определяется выражением

$$U_f = U_c(t_0) \cdot e^{-\gamma t} \cdot \left[ \frac{2\beta - \gamma}{\rho} \cdot \sin \rho t + \cos \rho t \right]. \quad (13)$$

Из составления расчетных и экспериментальных данных следует:

– время гашения поля расчетное	– 0,066 с;
– время гашения поля экспериментальное	– 0,072 с;
– максимальный выброс напряжения на обмотке возбуждения:	
расчетный	– 81,3 В;
экспериментальный	– 82,5 В.

Выявленные расхождения обусловлены переменным значением реальной индуктивности обмотки возбуждения в режиме гашения поля, которая является сложной функцией поля возбуждения.

Обработка экспериментальных значений указанных величин и сопоставление их с расчетными позволяют сделать вывод о приемлемости полученных аналитических выражений для определения времени гашения поля и возможных всплесков напряжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карачунский П.Ш. К вопросу улучшения работы тракта топливоподачи / П.Ш.Карачунский, А.Д.Пивненко. – М., 1988. – 8с. – Деп. в ВИНТИ СССР №11/109.

Поступила в редколлегию 26.01.2012.