

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование электрических машин: Учеб. Пособие для вузов/ И.П. Копылов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 2015. – 767 с.
2. Асинхронные двигатели серии» 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. М.: Энергоиздат, 1982. - 504 с
3. Сравнение характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при замене материала обмотки ротора и предложения по их улучшению. Шевченко В.В, Горюшкин Н.И, Лизан И.Я // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2014. - № 12. - С. 27-34.
4. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода / О. О. Муравлева //Известия Томского политехнического университета \ \ Томский политехнический университет (ТПУ). — 2005.— 135-139 с.
5. Энергоэффективные асинхронные двигатели для насосных агрегатов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : / П.В. Тютёва; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: 2010. — 215 с.
6. Тютёва П. В. Работа модернизированных асинхронных двигателей в составе регулируемого электропривода турбомеханизмов / П. В. Тютёва, Е. В. Бейерлейн // Известия вузов. Проблемы энергетика : научно-технический и производственный журнал / Казанский государственный энергетический университет. — 2015. — № 1-2. — [С. 76-84].
7. Бейерлейн Е.В., Тютёва П.В., Муравлева О.О. Комплексная оценка затрат при проектировании энергоэффективных асинхронных двигателей // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 25–28.

## ПРИМЕНЕНИЕ Fe-Cr-Co В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ РОТОРА СИНХРОННО-ГИСТЕРЕЗИСНОГО ГИРОДВИГАТЕЛЯ

Брянцев А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Гиродвигатель является как по положению, так и по своему назначению центральным элементом гироскопического прибора. Маховик вместе с двигателем, приводящим его во вращение, называется гиродвигателем (ГД). Особенность гироскопа заключается в том, что он стремится сохранить постоянство направления оси вращения маховика в абсолютном (инерционном) пространстве.

Принципиальной особенностью гистерезисных двигателей, связанной непосредственно с физикой их работы, является единый по своей природе электромагнитный момент в асинхронном и в синхронном режиме. То, что СГД имеет избыточный момент при любой скорости вращения, в том числе и при скорости, близкой к синхронной, позволяет ему входить в синхронизм при любом моменте инерции, что трудно получить от других типов синхронных двигателей [1].

Именно с этим связано в первую очередь применение гистерезисных двигателей в гироскопии. Кроме того, на стороне СГД простота, надежность и принципиальная симметричность конструкции ротора, а также относительно неплохие энергетические показатели, сопоставимые при малых габаритах с характеристиками двигателей иного типа. Для получения наилучших энергетических показателей используется только конструкция СГД с немагнитным материалом маховика.

До недавнего времени в качестве гистерезисного материала использовали сплав Fe – Co–V (викаллоу). В настоящее время создан сплав Fe–Cr–Co обладающий лучшими магнитными свойствами, как показано на рис. 1. Применение Fe–Cr–Co позволит ротору СГД находиться на петлях гистерезиса с большими значениями индукции и напряженности поля, это даст возможность использовать двигатель при больших значениях нагрузки. Сплав данной системы деформируется как в горячем, так и в холодном состоянии, а также обладает пластичностью и коррозионной стойкостью [2].

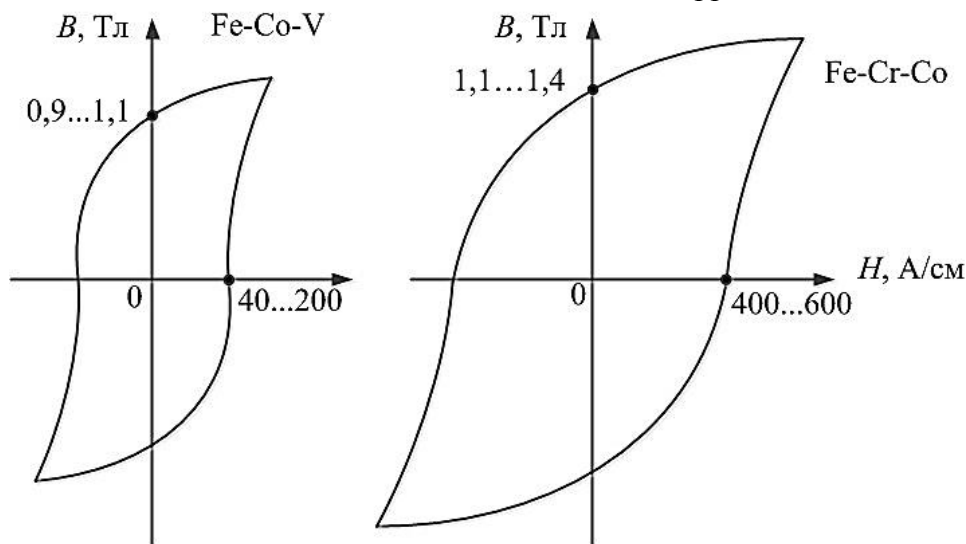


Рис. 1. Петли гистерезиса материалов Fe-Co-V и Fe-Cr-Co

Поэтому его можно устанавливать во внутреннюю поверхность маховика при помощи горячей посадки.

В данной работе был спроектирован СГД для бортовой системы летательного аппарата. Спроектированный двигатель удовлетворяет основным требованиям технического задания, а именно: синхронная скорость вращения  $n_c = 24000$  об/мин, число полюсов  $2p = 2$ , напряжение питания  $U_{\text{л}} = 36$  В, полезная мощность  $P_{2\text{н}} = 2$  Вт. Исходя из исходных данных, рассчитан необходимый номинальный момент  $M_{\text{н}} = 0,079$  Н·см, развиваемый маховой частью гиродвигателя, и соответственно подобраны требуемые размеры вращающейся и неподвижной частей.

На основании характеристики материала Fe–Cr–Co [2], были приняты следующие значения рабочей индукции  $B_{m\gamma} = 1,25$  Тл, напряженности поля  $H_{m\gamma} = 500$  А/см, коэрцитивной силы  $H_c = 420$  А/см, а также  $B_m = 1,4$  Тл и  $H_m = 600$  А/см. Максимальный коэффициент выпуклости  $k_{gm} = 0,62$ .

Величина индукции в воздушном зазоре  $B_{\delta} = 0,09$  Тл, требуемая для обеспечения нужной мощности при условии максимального к.п.д. в номинальном режиме, найдена по формуле [1, 10.28]. Чтобы обеспечить при данной индукции  $B_{\delta} = 0,09$  Тл требуемую рабочую индукцию в роторе  $B_{m\gamma} = 1,25$  Тл, по [1, 10.27] необходимо иметь относительную толщину ротора  $\beta = 1,071$  ( $\beta \approx k_d$ ). При выбранном коэффициенте  $k_d = 1,075$  относительная толщина  $\beta = 1,068$ . При данной  $\beta = 1,068$  из выражения [1, 10.26] индукция в роторе составляет  $B_p = 1,29$  Тл, и отличается от 1,25 Тл менее чем на 5%. Толщина активной части ротора равняется  $h_p = 0,105$  см.

Для того, чтобы в данных размерах при индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$  была бы обеспечена требуемая мощность, в материале активной части ротора должна быть создана определенная величина напряженности поля, амплитуду которой определяется из выражения [1, 10.29] и составляет  $H_{p.m} = 551$  А/см. По формуле [1, 10.32] развиваемая двигателем электромагнитная мощность при пуске  $P_3 = 10,9$  Вт, а пусковой момент  $M_{II} = 0,39$  Н·см. Так как петлевая обмотка имеет число пазов на полюс и фазу  $q_1 = 2$ , и выполнена с укороченным шагом  $y = 0,833$ , то влияние пространственных гармоник на характер механической характеристики незначительный, что наблюдаем из рис. 2.

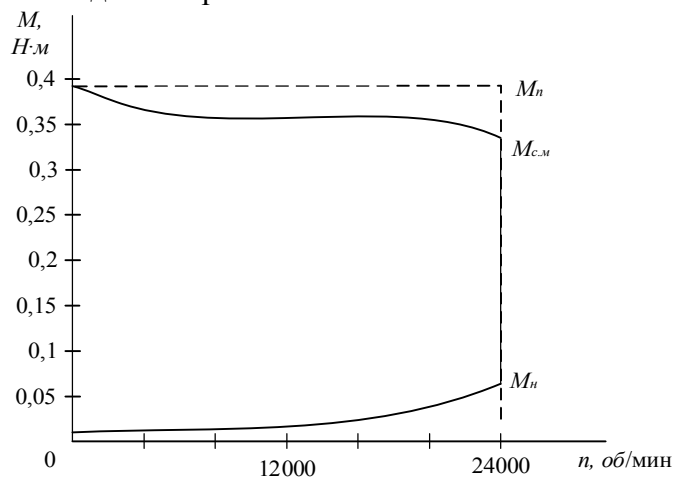


Рис. 2. Механическая характеристика СГД

В силу того, что ротор СГД намагничивается обмоткой статора. То СГД является недовозбужденным синхронным двигателем, что и определяет особенности его характеристик. Прежде всего из-за большого намагничивающего тока, потребляемого из сети, коэффициент мощности очень низкий  $\cos \varphi = 0,2 \div 0,5$  (см. рис. 3). Вследствие низкого  $\cos \varphi$ , двигатель потребляет большой ток, имеет большие потери в меди и следовательно невысокий к.п.д. Ток статора в синхронном режиме слабо зависит от нагрузки, так как преобладающей в токе является намагничивающая составляющая, которая почти постоянна. Кратность пускового тока невелика и составляет  $k_I = 1,105$ . Малая кратность тока является отличительной особенностью СГД, позволяющая с меньшим запасом выбирать мощность источника питания.

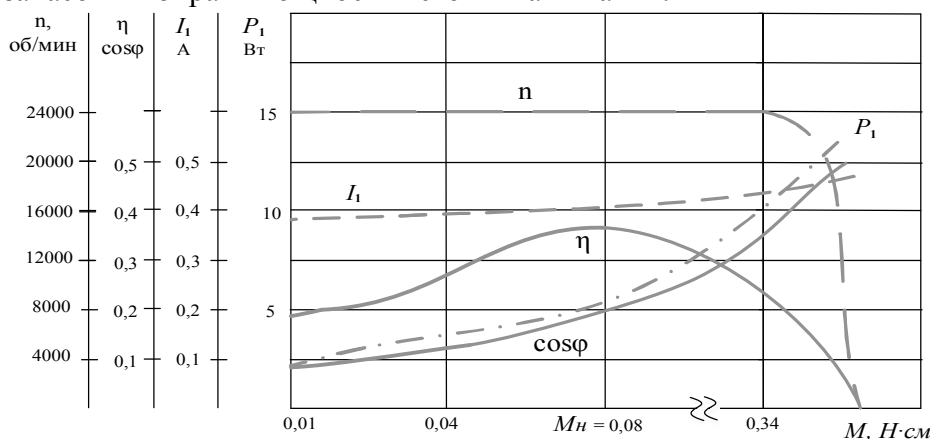


Рис. 3. Рабочие характеристики СГД

Таким образом, использование Fe-Cr-Co по сравнению с викаллоем приводит к увеличению в несколько раз удельных потерь на гистерезис  $P_{Г0}$ , электромагнитной мощности при пуске  $P_3$  и пускового момента  $M_{П}$ . При этом время разбега  $t_p$  снижается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Делекторский Б.А. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б.А. Делекторский, Н.З. Мастяев, И.Н. Орлов; под ред. И.Н. Орлова. — Москва: Машиностроение, 1968. — 252 с.
2. Устюхин А.С., Вомпе Т.А., Миляев И.М., Зелевский В.А. Исследование магнитных гистерезисных свойств Fe-26Cr-16Co порошковых сплавов в зависимости от условий спекания и термообработки // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Физика, математика, техника, технология. – 2015. – Ч. 135. – № 3. – С. 112–119.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

Елшибек Ануар Алтынбекулы

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Обеспечение жизнедеятельности трансформаторов при аварийных воздействиях, в частности, коротких замыканиях, остается важной научно-технической проблемой из-за повышения требований к надежности, экономичности, конкурентоспособности, а также из-за роста и перераспределения мощностей сетей, увеличения числа коротких замыканий. Также имеют место моральное и физическое старение парка трансформаторов, технические и экономические трудности обеспечения резерва и замены оборудования.

Актуальность темы: В объем капитального ремонта трансформаторов кроме работ, выполняемых при среднем ремонте, входят работы, связанные с разборкой активной части. Необходимость ее разборки может быть вызвана повреждением обмоток или магнитной системы, износом их изоляции. В первом случае обмотки полностью или частично заменяют новыми или восстанавливают старые.

Вместе с тем встает вопрос о необходимости замены медного провода алюминиевым, что обусловлено:

- дефицитом меди в связи с более быстрыми темпами развития электротехнической промышленности по сравнению с ростом добычи меди;
- снижением себестоимости алюминия, вызванным значительным увеличением объема производства и постоянно повышающейся стоимостью электроэнергии;
- снижением материалоемкости выпускаемых трансформаторов и электрических аппаратов, как указывалось выше, важная проблема электротехнической промышленности, никогда не теряющая своей актуальности [3].

Исследование возможностей модернизации силового трансформатора ТМ-100/6 при проектировании и поиск вариантов перехода на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы.

Обеспечение дальнейшей эксплуатации трансформаторов после капитального ремонта возможно за счет полной замены медного провода обмоток трансформатора алюминиевым, когда заменяется только металл провода, но сохраняются: число витков