

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ШАХТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Кашеутов Д.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для привода высокоэффективных, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынке вентиляторов высокой производительности, требуются высоковольтные взрывозащищённые четырёхполюсные асинхронные двигатели с номинальным напряжением 6 кВ, мощностью 200 кВт и выше. Эти двигатели должны:

1. Обладать максимальной надёжностью в условиях аварийной работы;
2. Иметь простоту конструкции, простоту обслуживания, ремонтоспособность;
3. Обладать достаточной компактностью, хорошо встраиваться в вентиляционную установку;
4. При минимальной массе и габаритных размерах иметь КПД не ниже двигателей аналогов;
5. Иметь улучшенные пусковые свойства;
6. Удовлетворять эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям для привода вентиляторов и при минимальных габаритных размерах обеспечивать КПД не ниже двигателей аналогов – ВАО или 1ВАО.

Однако, использование для привода вентиляторов серийных высоковольтных взрывозащищённых двигателей предложенных типов не оправдано из-за их пусковых свойств, конструктивных особенностей и массогабаритных показателей. Поэтому проектирование и создание высоковольтных асинхронных двигателей, предназначенных для привода вентиляторов высокой производительности, является актуальной задачей. Станина проектируемого двигателя выполнена из стального цилиндра с приваренными фланцами, лапами, проушинами, выводным патрубком, ребрами и трубами охлаждения. Конструкция такой станины значительно облегчает вес двигателя, а так же дает возможность ремонта станины, при механических повреждениях, либо отколе одной или нескольких её частей. В вентиляторах интенсивный наружный обдув двигателя осуществляется главным вентилятором, поэтому в проектируемом двигателе имеется возможность исключить радиальные вентиляционные каналы, что существенно упрощает конструкцию сердечника статора. Система вентиляции – аксиальная, с продуваемым ротором, в котором предусмотрены аксиальные каналы. По способу охлаждения аналогичен ИСО151 – закрытая машина, имеющая корпус с трубами для прохода воздуха, с внутренним вентилятором.

Требование компактности, предъявляемое к проектируемому двигателю, ограничивает наружный диаметр $D_n = 0,66$ м и активную длину сердечника статора $l_l = 0,31$ м. Магнитопровод набран из штампованных листов электротехнической стали, марки 2412. Обмотка статора двухслойная, с укороченным шагом, выполненная из жёстких катушек изолированного провода прямоугольного сечения. Такая конструкция обеспечивает достаточную механическую прочность обмотки, повышает её долговечность и надёжность, а, следовательно, увеличивает ресурс двигателя. Двухслойная обмотка из жестких катушек укладывается в открытые прямоугольные пазы статора, рис.б.

С целью снижения добавочных потерь, что свойственно асинхронным двигателям с открытыми прямоугольными пазами статора, ширина паза статора должна быть минимальной или для крепления обмотки статора должны быть предусмотрены магнитные клинья.

Обмотка ротора выполнена из меди с припаянными короткозамкнутыми кольцами. Такая конструкция обмотки позволяет уменьшить номинальное скольжение двигателя, тем самым улучшив его энергетические показатели. Также это улучшит надежность ротора. Пазы ротора прямоугольные, закрытые

В оптимизационных расчётах постоянные данные; лимитирующие показатели представлены в [1]. При заданных значениях наружного диаметра и активной длины сердечника статора задачей оптимизационных расчётов является определение диаметра расточки статора D_1 , обмоточных данных статора, размеров пазов статора и ротора, что и предопределяет выбор варьируемых переменных.

За варьируемые переменные приняты диаметр расточки статора D_1 , число эффективных проводников в пазу статора $U_{\text{пн}}$, ширина прямоугольного провода $b_{\text{м1}}$ обмотки статора, ширина медного стержня в пазу ротора $b_{\text{с2}}$.

Существуют рекомендации [3] к выбору диаметра расточки статора как $D_1 = k_D \cdot D_{\text{н}}$. При номинальном напряжении 6 кВ, $2p=4$ коэффициент $k_D = 0,61 \dots 0,66$. Пределы варьирования диаметра расточки статора $D_1 = 0,4 \dots 0,435$ м. Такие пределы варьирования диаметра расточки статора свойственны серийным асинхронным двигателям с кратностью пускового момента $M_{\text{п}} \geq 1$ о. е.

Кратность пускового момента асинхронного двигателя для привода вентилятора обычно не оговаривается и может быть меньше единицы. По рекомендациям МЭК в асинхронных двигателях перспективных разработок кратность пускового момента может быть снижена до 0,65 о. е. Снижение кратности пускового момента в асинхронном двигателе для привода вентилятора до 0,65 о. е. позволит также снизить кратность пускового тока, что актуально для прямого пуска асинхронного двигателя.

С целью снижения кратности пускового тока целесообразно рассмотреть возможность проектирования асинхронного двигателя для привода вентилятора при диаметрах расточки статора $D_1 \leq 0,4$ м.

При выбранных значениях диаметра расточки статора и постоянных исходных данных минимальное число активных проводников обмотки в пазу статора $U_{\text{пнmin}}$ определяется допустимой индукцией в воздушном зазоре $B_{\text{оmax}}$, а максимальное $U_{\text{пнmax}}$ – допустимой линейной нагрузкой $A_{\text{лmax}}$.

В асинхронных двигателях с открытыми пазами статора значительную часть потерь составляют добавочные потери – пульсационные и поверхностные. Уменьшение добавочных потерь возможно за счёт применения магнитных клиньев или уменьшения ширины паза статора. В данной работе рассматривается возможность снижения добавочных потерь за счёт уменьшения ширины открытого паза статора.

С использованием метода [2,3], составлена MathCAD-программа оптимизационных расчётов с использованием метода полного перебора варьируемых переменных. При заданных постоянных исходных данных, ограничениях и варьируемых переменных диаметра расточки статора $D_1 = 0,37 \dots 0,4$ м, числа активных проводников в пазу статора $U_{\text{пн}} = 32, 34, 36$, ширины проводника обмотки статора $b_{\text{м1}} = 3,55, 4,5$ и $4,75$ мм, ширины стержня короткозамкнутой обмотки ротора $b_{\text{с2}} = 5; 5,5; 6$ и $6,5$ мм получены следующие пределы изменения величин: КПД $\eta = 0,94 \dots 0,942$, коэффициента мощности $\cos \phi = 0,86 \dots 0,88$, кратности пускового тока $I_{\text{п*}} = 5,4 \dots 7$, кратности пускового момента $M_{\text{п*}} = 0,75 \dots 1$, масса меди обмотки статора $G_{\text{м1}} = 73 \dots 85$ кг.

Следует отметить следующие закономерности результатов расчёта. Увеличение числа проводников $U_{\text{п}}$ в пазу статора с 32 до 36 приводит к снижению кратности пускового тока $I_{\text{п}}$ с 7 до 5,4 о.е., пускового момента $M_{\text{п}}$ с 1 до 0,75 о.е. и коэффициента полезного действия η с 0,942 до 0,94 о.е.. При этих же условиях увеличивается масса меди обмотки статора $G_{\text{м1}}$ с 73 до 85 кг, незначительно возрастает коэффициент мощности $\cos\phi$ с 0,86 до 0,88 причём, чем больше диаметр расточки статора D_1 , тем больше коэффициент мощности. В большей степени при принятых ограничениях, функции цели удовлетворяет вариант расчёта при варьируемых переменных: $D_1 = 0,38$ м, $U_{\text{п}} = 32$ проводника, размеры прямоугольного провода $b_{\text{м1}} = 3,55$ мм и $a_{\text{м1}} = 1,5$ мм, ширина стержня короткозамкнутой обмотки ротора $b_{\text{с2}} = 6,5$ мм. Оптимально спроектированный двигатель обладает следующими характеристиками: КПД $\eta = 0,942$, коэффициент мощности $\cos\phi = 0,867$, кратность пускового момента $M_{\text{п}} = 0,83$, кратность пускового тока $I_{\text{п}} = 6,5$.

Заключение. Для проектируемого высоковольтного взрывозащищённого асинхронного двигателя разработан алгоритм и программа оптимизационных расчётов. При заданных ограничениях спроектирован высоковольтный асинхронный двигатель, удовлетворяющий функции цели – максимуму КПД (0,942 о.е.) и минимуму массы меди обмотки статора ($G_{\text{м1}} = 73,6$ кг).

ЛИТЕРАТУРА

1. Баклин В.С., Пушкарёв И.И. Алгоритм оптимизационных расчётов высоковольтных асинхронных двигателей // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 4. – С. 132–136.
2. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П. и др. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
3. Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ МОНТАЖНОГО ПРОВОДА

Болгова В.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Надежность и работоспособность электрооборудования и систем энергообеспечения во многом определяется надежностью электрической изоляции. Например, проблемы с изоляцией обмоток статоров высоковольтных электрических машин, наряду с механическими проблемами опорных подшипников и дефектами монтажа, во многом определяют надежность и безаварийность работы крупных генераторов и электродвигателей. Значительное количество отказов электрооборудования происходит из-за скрытых дефектов и ослаблений изоляции. Это возникает, в большинстве случаев, вследствие критического превышения температуры. Появление перегревов носит случайный характер, их причинами могут быть электрические нагрузки, открытые источники тепла или огня. Опасность перегревов для изоляции заключается в необратимом тепловом старении, ускоряющем процессы деструкции структуры полимерной изоляции, что в свою очередь приводит к ухудшению электрических и механических свойств, снижению срока службы.