

К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е. В. КОНОНЕНКО, Г. И. ЛУКИЯНОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В связи с расширением области применения синхронных реактивных двигателей (СРД), особенно в системах частотного регулирования скорости вращения, становятся актуальными исследования оптимальных соотношений при их проектировании. Одним из возможных направлений при проектировании СРД является разработка самостоятельной серии двигателей. Однако такое решение задачи сопряжено с большими затратами и трудностями и вряд ли является экономически выгодным при масштабе производства, определяемом десятками или сотнями тысяч в год. Теоретические исследования, а также результаты экспериментальных исследований опытных образцов усовершенствованных СРД показывают, что СРД с достаточно высокими энергетическими показателями можно выполнить на базе существующих серий асинхронных двигателей общепромышленного применения. В этом случае сердечник статора и все остальные узлы и детали заимствуются у соответствующих асинхронных двигателей, за исключением сердечника ротора. Кроме того, в обмотке статора может быть изменено число витков и сечение провода. Ряд зарубежных фирм, занимающихся разработкой и производством СРД, также стремятся выполнить их на базе существующих серий стандартных асинхронных двигателей. Такое направление при разработке СРД представляется в настоящее время наиболее целесообразным и имеет следующие преимущества:

- 1) Обеспечивается максимальная унификация и нормализация деталей и узлов, а также технологичность конструкции.
- 2) Сокращаются объем, сроки выполнения и стоимость проектных работ.
- 3) Сокращается количество вновь разрабатываемого оборудования и оснастки.
- 4) Производство СРД может быть налажено на тех же участках, что и асинхронных двигателей, и не требует большой подготовки производства. Указанные обстоятельства приводят к тому, что освоение производством СРД потребует значительно меньше времени и затрат, чем подготовка производства индивидуального исполнения.

В то же время все геометрические соотношения, имеющие место в асинхронных двигателях, в общем случае не могут быть приняты в основу проектирования СРД в силу того, что последние обладают рядом принципиальных отличий от асинхронных двигателей и должны удовлетворять специфическим требованиям. Кроме того, серия асинхронных двигателей общепромышленного применения мощностью 0,6—100 кВт

постоянно совершенствуется. Все это выдвигает необходимость установления закономерностей и соотношений по выбору электромагнитных нагрузок, основных размеров, внутренней геометрии, позволяющих спроектировать оптимальные при данных условиях СРД.

При проектировании оптимальных электрических машин в настоящее время для большинства серийных машин в качестве критерия оптимальности принимается экономический критерий — минимум суммарных затрат, который включает затраты на изготовление и эксплуатацию машины. В суммарных затратах СРД преобладают эксплуатационные расходы и при оптимизации подвергаются изменению в основном расходы, связанные с энергетическими показателями — к.п.д. и коэффициентом мощности. Поэтому при проектировании следует стремиться к достаточно высоким значениям этих показателей. Однако уровень энергетических показателей в некоторых случаях может ограничиваться техническими требованиями, предъявляемыми к двигателю условиями эксплуатации. В связи с этим проанализируем некоторые технические требования к СРД и оценим их возможности с точки зрения удовлетворения этим требованиям.

1. Пусковые характеристики

СРД пускаются в ход, как и асинхронные двигатели. Выбор требуемых значений пусковых характеристик зависит от назначения двигателя. В большинстве случаев СРД должны обеспечивать надежный пуск и синхронизацию при полной нагрузке. Для этого необходимо, чтобы величины пускового момента M_p , момента входа в синхронизм $M_{вх}$, минимального и максимального моментов в асинхронном режиме были не ниже номинального момента. В основном обеспечение таких характеристик при проектировании СРД на базе асинхронных двигателей возможно. Это подтверждается данными табл. 1. В табл. 1 приведены пусковые характеристики и номинальные данные, полученные в результате испытания опытных образцов, выполненных на базе асинхронных двигателей серии АО2. Следует заметить, что при проектировании серьезное внимание должно быть уделено $M_{вх}$, так как его величина является определяющей.

Момент входа в синхронизм зависит в основном от параметров пусковой обмотки, максимального момента СРД в синхронном режиме (или перегрузочной способности) и момента инерции вращающихся масс. С увеличением M_m входной момент увеличивается. Однако при этом ухудшаются энергетические показатели. Например, для опытного образца СРО 31-6 при $M_m = 1,51 M_n$ при испытаниях получено $M_{вх} = 0,96$, $\eta_n = 76,4\%$; $\cos\varphi_n = 0,675$.

Таблица 1

Тип двигателя квт	P_n , квт	γ_n , %	$\cos\varphi_n$	$\frac{M_m}{M_n}$ °С	$\Delta\theta$ °С	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{M_{вх}}{M_n}$	$\frac{I_p}{I_n}$
СРО 31-4	2,2	79,1	0,61	1,83	65,0	3,4	1,06	5,3
СРО 32-4	3,0	84,2	0,66	1,61	59,0	2,9	1,27	5,9
СРО 31-6	1,5	75,0	0,63	1,69	73,0	3,0	1,10	4,7
СРО 32-6	2,2	79,5	0,64	1,60	71,4	2,9	1,07	5,0
СРО 41-4	4,0	85,4	0,69	1,56	55,2	4,2	1,26	6,4
СРО 42-4	5,5	87,4	0,70	1,43	56,8	3,7	1,39	6,3
СРО 41-6	3,0	81,8	0,67	1,70	63,5	2,7	1,01	5,3
СРО 42-6	4,0	84,4	0,69	1,45	65,2	4,4	1,11	5,5

Для того чтобы получить $M_{вх} = 1,0$, перегрузочная способность была увеличена до 1,69. При этом к.п.д. уменьшился на 1,83%, а коэффициент мощности на 6%. Следовательно, увеличения $M_{вх}$ в первую очередь целесообразно добиваться рациональным проектированием пусковой обмотки. Одним из таких методов является уменьшение активного сопротивления обмотки, для чего пусковую клетку следует выполнять полной. При этом надо учитывать допустимую величину пускового тока, которая ограничивается нагревом обмоток во время пуска. Для СРД можно считать допустимой кратность пускового тока, равную 5,5—7,0 (так же, как и в асинхронных двигателях). Если двигатели предназначены для работы в системах регулирования скорости при помощи тиристорных преобразователей частоты, то снижение кратности пускового тока может быть достигнуто выбором соответствующего закона изменения напряжения в зависимости от частоты во время пуска. В некоторых случаях величиной, ограничивающей пусковые характеристики, может быть величина минимального момента в асинхронном режиме.

2. Перегрузочная способность

Величину перегрузочной способности СРД следует выбирать несколько меньшей по сравнению с асинхронным двигателем. Это объясняется следующими обстоятельствами. Увеличение момента нагрузки больше максимального момента, развиваемого асинхронным двигателем, приводит к останову двигателя с вытекающими отсюда последствиями. СРД в этих условиях выпадает из синхронизма и продолжает работать в асинхронном режиме с небольшим скольжением. При исчезновении перегрузки двигатель автоматически втягивается в синхронизм. Поэтому перегрузочную способность СРД достаточно выбрать равной 1,4—1,5. Кроме того, как уже отмечалось выше, выбор большого значения M_m ухудшает энергетические показатели.

3. Номинальные данные

Из табл. 1 видно, что опытные образцы СРД в тех же габаритах имеют такую же номинальную мощность, что и асинхронные двигатели при несколько меньшем коэффициенте мощности (на 15—20%). Перегревы обмотки статора не превышают допустимый для класса изоляции Е.

При работе СРД в системах частотного регулирования скорости дополнительно к двигателям предъявляются требования устойчивости работы двигателя во всем диапазоне регулирования. Исследования в этой области показывают, что большое влияние на область устойчивой работы оказывают значения синхронных индуктивных сопротивлений, закон регулирования напряжения в функции частоты, параметры обмотки ротора и т. д. Изменения конструкции ротора, направленные на повышение энергетических показателей, приводят к расширению области самораскачивания.

Таким образом, анализ требований, предъявляемых к двигателю условиями эксплуатации, и характеристик СРД показывает, что проектирование СРД, одновременно удовлетворяющего всем требованиям, является довольно сложной задачей.

При проектировании СРД на базе асинхронных двигателей геометрия статора является заданной. Следовательно, требуемые характеристики могут быть получены изменением числа витков обмотки статора и конструкции сердечника ротора. Проектирование оптимальных СРД в этом случае заключается в нахождении оптимальных соотношений электромагнитных нагрузок и оптимальной геометрии ротора.