

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

УДК 621.313.323

КОЛЫЧЕВ С.В., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ БЕСКОНТАКТНЫХ СОВМЕЩЕННЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Введение. В отличие от синхронных машин обычного исполнения пуск бесконтактных совмещенных синхронных двигателей (БССД) имеет ряд особенностей.

1. Двигатель не имеет специальной пусковой (демпферной) обмотки на роторе. Её роль по поперечной оси машины выполняет специальная трехфазно-однофазная совмещенная обмотка, уложенная в пазы полюсных наконечников. В синхронном режиме двигателя эта обмотка, взаимодействуя с полем управления, питает мостовой вращающийся выпрямитель (ВВ) трехфазной системой токов. Таким образом, указанная обмотка выполняет функцию роторной обмотки асинхронного возбудителя. В пусковом режиме двигателя электродвижущие силы (э.д.с.) всех катушек этой обмотки, наводимые полем статора, действуют согласно, и обмотка выполняет роль поперечного демпферного контура (рис.1). Демпферным контуром по продольной оси выступает сама обмотка возбуждения (ОВ). Совмещение функций роторных обмоток позволяет снизить габариты машины, упростить технологию её изготовления, отказаться от размещения

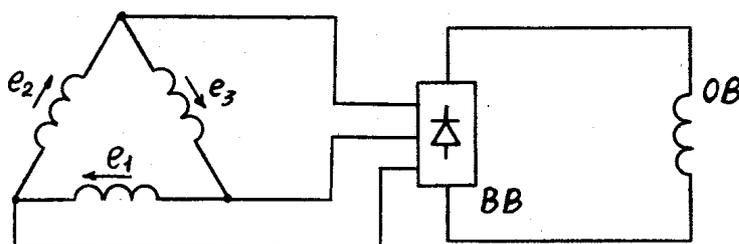


Рисунок 1 – Схема соединения роторных обмоток БССД

на валу основного двигателя специальной машины-возбудителя. При этом главная синхронная машина сохраняет бесконтактное исполнение и способность работать в соответствующих окружающих условиях.

2. Вращающийся выпрямитель должен быть снабжен защитным устройством,

обеспечивающим его защиту от пробоя повышенным напряжением, наведенным полем реакции якоря в обмотке возбуждения двигателя. Защитное бесконтактное устройство должно автоматически шунтировать выпрямитель в непроводящем направлении, замыкая его выход либо накоротко, либо на достаточно малое сопротивление.

3. Пуск БССД осуществляется при обесточенных цепях управления машины. Последние должны размыкаться на время пуска коммутирующим устройством, размещенным на статоре двигателя.

Постановка задачи. В противоположность машинам с полной демпферной (пусковой) обмоткой на роторе на вид механической характеристики БССД решающее влияние будут оказывать параметры обмотки возбуждения.

Требуемая величина пускового момента рассматриваемого двигателя достигается только введением в цепь возбуждения активного добавочного сопротивления, так как собственное активное сопротивление этой обмотки R_{f0} пренебрежимо мало по сравнению с индуктивным сопротивлением рассеяния $X_{\sigma f}$. Обычно $R_{f0} = 0,005 \dots 0,025$; $X_{\sigma f} = 0,14 \dots 0,19$; $R_{f0} \ll X_{\sigma f}$ [1].

Введение в обмотку возбуждения на время пуска постоянного сопротивления вызывает необходимость шунтировать его во избежание потерь в синхронном режиме

двигателя. Если в качестве ВВ используется диодный трёхфазный мост, то шунтирование пускового сопротивления возможно в самом простейшем случае только тиристором, рассчитанным на полный ток форсировки. Указанный тиристор усложняет систему возбуждения.

Пусковые характеристики БССД можно улучшить введением в обмотку возбуждения переменного сопротивления, удовлетворяющего следующим требованиям:

- его активное сопротивление должно автоматически изменяться в функции частоты тока ротора;
- в начале пуска (скольжение $S = 1$) это сопротивление должно иметь максимальное требуемое значение;
- к окончанию пуска двигателя ($S = 0,05$) оно должно быть минимально возможным.

Заданным требованиям отвечает так называемое индукционное сопротивление (ИС), принцип действия которого основан на явлении поверхностного эффекта в массивных ферромагнитных телах, на которые воздействует переменная магнитодвижущая сила [2]. В отличие от постоянного активного сопротивления ИС имеет следующие достоинства:

- возможность изготовления во взрывозащищённом исполнении;
- зависимость параметров от частоты э.д.с. скольжения;
- превращение в тепло преобладающей части электрических роторных потерь вне рабочего объёма машины;
- простота способа получения и изменения требуемых номинальных и пусковых характеристик, плавности пуска;
- большая свобода выбора параметров и пусковых соотношений при проектировании машины;
- сравнительная простота изготовления и технологичность.

Опыт эксплуатации индукционных сопротивлений, установленных в роторных цепях регулируемых асинхронных двигателей, показал, что они обеспечивают надёжную работу не только в обычных условиях, но и в сложных условиях шахт, а их надёжность и долговечность превосходят аналогичные показатели асинхронных двигателей без ИС, а тем более показатели надёжности пускорегулирующей аппаратуры [2].

Результаты работы. Методика расчета дискового индукционного сопротивления основана на оперировании понятием комплексного магнитного сопротивления массивного магнитопровода, учитывает его кривизну, достаточно проста, даёт хорошее совпадение с экспериментальными результатами, позволяет выявить основные факторы, влияющие на эквивалентные параметры исследуемого устройства.

Ниже приводятся расчетные формулы, справедливые в режиме сильных полей, то есть при напряженности магнитного поля больше граничного значения, при котором магнитная проницаемость имеет максимум.

Опуская промежуточные преобразования, запишем конечное выражение для определения комплексного эквивалентного электрического сопротивления ферромагнитного массива, приведенного к обмотке индуктора

$$Z = (k_A + j \cdot k_P) \cdot \frac{\omega^{1/2} \cdot K_M \cdot W^{5/3}}{[C \cdot F(h, R)]^{2/3} \cdot I^{1/3}}, \quad (1)$$

где k_A , k_P – коэффициенты, учитывающие соотношение активной и реактивной составляющих ИС; $k_A = 0,83$; $k_P = 0,56$ для $\cos \varphi_{ИС} = 0,83$;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – круговая частота тока;

W – число витков обмотки индуктора;

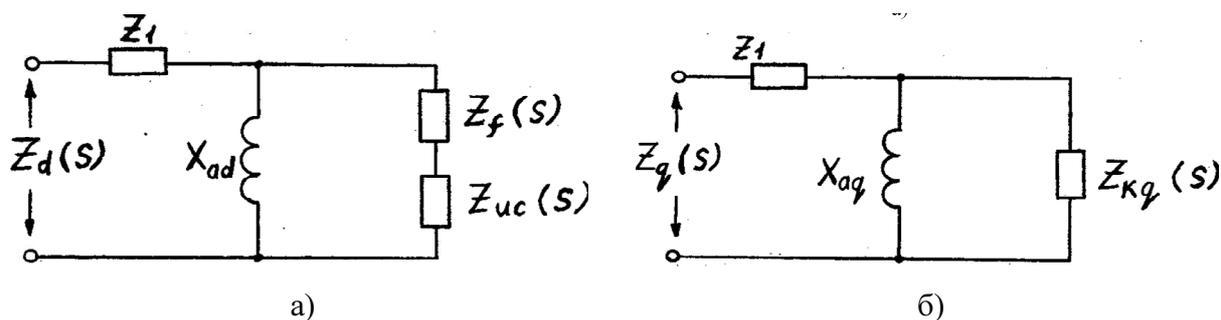
K_M – величина, характеризующая свойства материала магнитопровода;

C – коэффициент аппроксимации кривой намагничивания материала;
 $F(h,R)$ – величина, характеризующая размеры окна магнитопровода;
 I – ток в обмотке ИС.

На схеме замещения БССД по продольной оси индукционное сопротивление можно представить как добавочное нелинейное сопротивление в контуре обмотки возбуждения (рис.2). Приведём значение эквивалентного электрического сопротивления ИС к обмотке статора машины:

$$Z'_{ИС} = Z \cdot \frac{K_i \cdot K_U}{S}, \quad (2)$$

где K_i, K_U – коэффициенты приведения тока и напряжения ОВ к статору;
 S – скольжение двигателя.



а) по оси d; б) по оси q

Рисунок 2 – Эквивалентная схема замещения БССД

Учитывая, что $f_2 = f_1 \cdot S$ и $I'_f = I_f / K_i$, переходя в выражении (2) к относительным единицам, получим

$$Z_{ИС} = \frac{Z_{ИС1}}{S^{1/2} \cdot I_f^{1/3}}, \quad (3)$$

$$Z_{ИС1} = (k_A + j \cdot k_P) \cdot \frac{\omega_0^{1/2} \cdot K_M \cdot W^{5/3} \cdot \frac{2}{3} \cdot K_i^{5/3}}{[C \cdot F(h,R)]^{2/3} \cdot I_N^{-2/3} \cdot U_N}, \quad (4)$$

где $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$ – круговая частота при $f_0 = 50$ Гц;

I_N, U_N – номинальные значения тока и напряжения двигателя.

Формулы (3), (4) позволяют рассчитывать величину индукционного сопротивления как функцию скольжения машины и переменного тока через обмотку возбуждения. Так как последний определяется в свою очередь величиной ИС, то расчет пусковой характеристики сводится к решению итерационной задачи при фиксированном скольжении. Первое приближение величины $Z_{ИС1}$ (например, при $S = 1$) должно учитывать желаемое качество асинхронной характеристики машины: моменты трогания и входной, наличие провала при $S = 0,5$ и др. При этом действующее значение перенапряжений U_{II} на обмотке возбуждения БССД при $S = 1$ следует сравнить с допустимой величиной.

В относительных единицах

$$U_{II} = I_f^{2/3} \cdot Z_{ИС1}. \quad (5)$$

Переход от (5) к абсолютным единицам производится по выражению

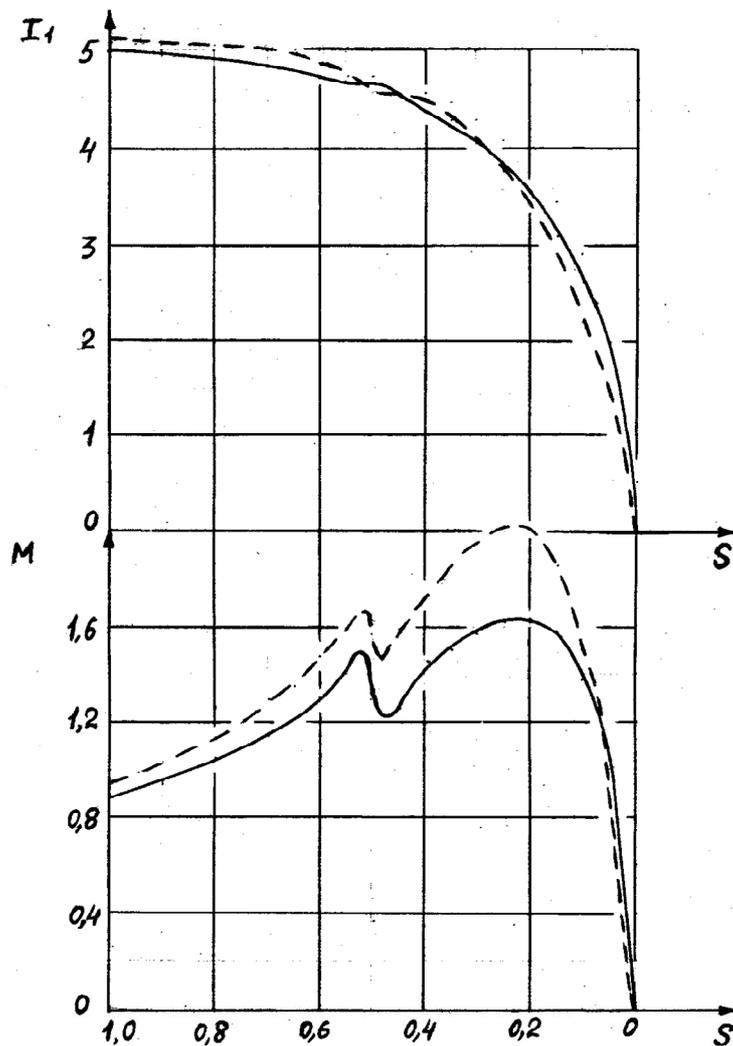
$$U_{II\text{MAX}} = U_{II} \cdot U_N / K_U. \quad (6)$$

Так як в БССД відсутня демпферна клітка по продольній осі, то для зниження перенапружень бажано мати мінімально можливе число витків ОВ.

На рис.3 сопоставлены расчетные асинхронные характеристики крупного БССД ($P_N = 800$ кВт, $U_1 = 6000$ В, $I_1 = 89,4$ А, $n = 1000$ об/мин) с постоянным активным и индукционным сопротивлениями в обмотке возбуждения. В основу расчета положена типовая методика [3]. Здесь K – кратность сопротивления:

$$K = \frac{R_{fd}}{R_{f0}} = \frac{R_{ис}}{R_{f0}},$$

где R_{fd} – активное добавочное постоянное по величине сопротивление;
 $R_{ис}$ – активная составляющая ИС.



— с индукционным сопротивлением, --- с активным сопротивлением

Рисунок 3 – Пусковые характеристики БССД с добавочным сопротивлением в ОВ при $K=20$

Для упомянутого крупного БССД предварительно было просчитано два варианта индукционного дискового сопротивления.

Первый вариант ИС имеет низкое активное сопротивление обмотки индуктора ($R_{ис0} = 0,06 \cdot R_{f0}$). ИС постоянно включено в ОВ, т.е. работает как в пусковом, так и в

синхронном режимом двигателя, рассчитано на длительное протекание тока возбуждения, однако имеет повышенные габариты и вес.

Второй вариант ИС обладает большим активным сопротивлением обмотки индуктора ($R_{ИС0} = 2 \cdot R_{f0}$) и включается в обмотку возбуждения только на время пуска, отличается компактностью, но требует размещения на роторе шунтирующего тиристорного устройства.

Оба варианта ИС спроектированы с учётом того, что более 90% мощности потерь скольжения во время пуска выделяются в стальных магнитопроводах индукционных дисков, которые при вращении хорошо охлаждаются. При необходимости ИС может быть изготовлено во взрывозащищённом исполнении и установлено на роторе двигателя за пределами его корпуса.

Выводы. 1. Пусковая характеристика БССД с ИС (рис.3) значительно превосходит аналогичную характеристику с постоянным сопротивлением по входному моменту и практически не уступает ей по пусковому моменту. 2. Кратность сопротивления $K = 20$ является оптимальной, исходя из допустимых значений провала пусковой характеристики и перенапряжений на обмотке возбуждения двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лищенко А.И. Синхронные двигатели с автоматическим регулированием возбуждения / Лищенко А.И. – Киев: Техніка, 1969. – 192с.
2. Власов В.Г. Взрывозащищённый тиристорный электропривод переменного тока / Власов В.Г., Иванов В.Л., Тимофеева Л.И. – М.: Энергия, 1977. – 160с.
3. Постников И.М. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин / Постников И.М. – М.: Высшая школа, 1975. – 319с.

Поступила в редколлегию 22.06.2015.

УДК 621:313

КАЧУРА А.В., к.т.н., доцент

МОРОЗ Л.Ю., студент

СЪЯНОВ А.М., д.т.н., профессор

Днепропетровский государственный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С УМЕНЬШЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

Введение. 3,

начительная часть мировой инфраструктуры ориентирована на использование электрической энергии, основным потребителем которой является промышленность. В процессе модернизации промышленного электрооборудования и внедрения новых технологий широкое распространение получили электроприводы на базе вентильных реактивных двигателей (ВРД), которые являются составной частью разнообразных периферийных устройств, систем точного позиционирования, медицинского оборудования, станков с ЧПУ, роботов.

Широкое применение ВРД обусловлено их специфическими свойствами: возможность быстрого старта и реверсирования, прецизионное позиционирование, широкий диапазон регулирования, высокая надежность. В связи с этим актуальной является задача усовершенствования существующих и разработки новых конструкций ВРД с использованием современных материалов и технологических решений.