

УДК 621.313.32

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

К.М. Виноградов, Ю.В. Константинов, А.П. Шмаков

В статье рассмотрены результаты исследования статических характеристик бесконтактного генератора на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения. Эксперименты проведены на одном из лабораторных макетов генератора с различными источниками питания.

Ключевые слова: бесконтактность, синхронная машина, высокие скорости вращения.

В качестве лабораторного макета бесконтактного генератора использовался образец со следующими параметрами (табл.).

Таблица

Параметры лабораторного макета генератора

Асинхронный двигатель-прототип	ДАТ 126-250
Номинальная мощность, P_n , кВт	0,25
Номинальная скорость ω_n , рад/с	104,7
Номинальный момент M_n , Н·м	3,2
Номинальное фазное напряжение U_n , В	24
Номинальный ток I_n , А	1,5
Линейная нагрузка, А/см	240
Расчётное значение индукции в зазоре B_δ , Тл	0,8
Число фаз m	6
Внешний диаметр сердечника статора, мм	103
Внутренний диаметр статора D , мм	54
Длина сердечника статора l_δ , мм	65
Односторонний воздушный зазор δ , мм	0,4
Число зубцов статора z	24
Число полюсов $2p$	4
Масса машины, кг	6,3
Удельные показатели m/M_n , кг/Н·м	1,97

Обмотка возбуждения подключалась к реверсивному тиристорному преобразователю, машине (генератору) постоянного тока и ШИМ источнику тока [1]. На рис. 1 приведены кривые фазной ЭДС (полуволна фазы С) для этих случаев, при этом ток возбуждения был одинаковым и равным

$I_b=1A$, также была одинаковой и частота вращения ротора генератора $\omega_r=300$ об/мин. Как видно из осциллограмм, во всех кривых присутствуют зубцовые гармоники магнитного потока, обусловленные зубчатой формой статора. Кроме того, в случае с тиристорным преобразователем в кривой фазной ЭДС присутствуют гармоники, связанные с выпрямлением сетевого напряжения (трехфазная мостовая схема). При питании обмотки возбуждения от машины постоянного тока и ШИМ-источника тока кривые практически совпадают. Это можно объяснить тем, что в источнике тока выбрана относительно высокая частота модуляции (4 кГц), достаточная для того, чтобы собственная индуктивность рассеяния фазы сглаживала кривую тока возбуждения.

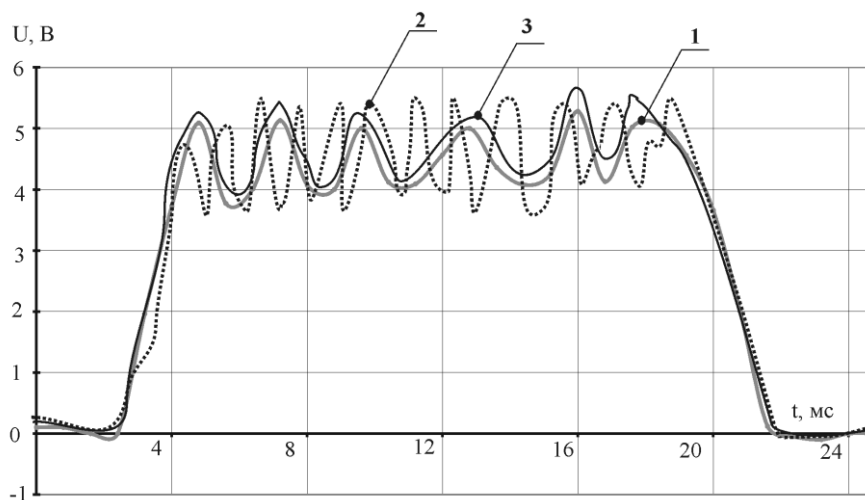


Рис. 1. Кривая фазной ЭДС

Поэтому дальнейшие эксперименты проводились с разработанным ШИМ источником тока возбуждения. Как видно из представленных осциллограмм, кривую фазной ЭДС можно аппроксимировать трапецией, как в машине постоянного тока.

Различие амплитудных значений фазных ЭДС (рис. 2) заставило провести дополнительные исследования по выявлению причин, его вызывающих. Как видно из рис. 2, кривые ЭДС фаз А и С имеют относительно одинаковые амплитуды на всем полупериоде волны, а полуволна ЭДС фазы А имеет характерные неодинаковые по высоте участки 1 и 2. На этом этапе было сделано предположение о том, что данной причиной является неодинаковость проводимости магнитного потока (разная магнитная проницаемость) холоднокатаной стали статора вдоль и поперек линии прокатки. Поэтому далее были проведены простейшие эксперименты по измерению трансформаторной ЭДС, наводящейся в фазной обмотке статора.

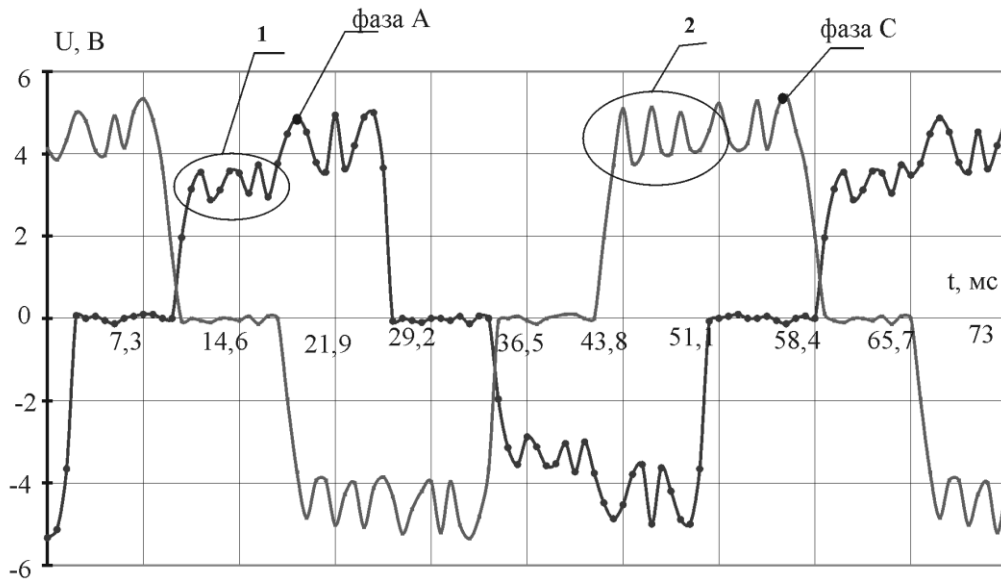


Рис. 2. Кривые фазных ЭДС в фазах A и C

В этом случае одна из фаз (в данном случае фаза Z) подключалась через автотрансформатор к сети переменного напряжения частотой 50 Гц. Другая фаза, имеющая по отношению к первой сдвиг в 90 эл. градусов (фаза A), подключалась к осциллографу (регистратору). При этом ротор генератора вращался с частотой 0,5 об/с от приводного асинхронного двигателя. В результате получаются низкочастотные колебания амплитудного значения трансформаторной ЭДС, модулированные несущей частотой сети. Результаты эксперимента приведены на рис. 3, где изображены кривые трансформаторных ЭДС соответственно для пар обмоток A-Z, C-Y. Если не учитывать зубчатость статора (исключить зубцовые гармоники) в полученных кривых, то их можно аппроксимировать трапецией. Из полученных кривых можно увидеть, что обмотки пары фаз Y-C имеют практически одинаковые амплитуды полувольт (высоты трапеции), пары A-Z – разные амплитуды. Число витков во всех обмотках одинаковое. Воздушный зазор вдоль расточки статора равномерный. Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что причиной неодинаковости амплитудных значений как трансформаторной ЭДС, так и в последующем – амплитуд фазной ЭДС вращения является разная величина магнитной проводимости (анизотропия магнитных свойств) холоднокатаной стали статора вдоль и поперек направления проката [2].

Далее был проведен ряд экспериментов по исследованию влияния других факторов на среднее значение фазной ЭДС [3]. На лабораторной установке были смоделированы режимы изменения скорости вращения приводного двигателя и изменение величины тока возбуждения. В первом случае частота вращения была увеличена в 2 раза, что привело к увеличению среднего значения фазной ЭДС также в 2 раза. Затем был увеличен в 2 раза ток возбуждения (частота вращения в этом случае соответствовала

исходной и не изменялась), здесь также наблюдалось увеличение в 2 раза среднего значения фазной ЭДС. Последнее обстоятельство говорит о том, что магнитная система была не насыщена и генератор изначально работал на линейном участке кривой намагничивания.

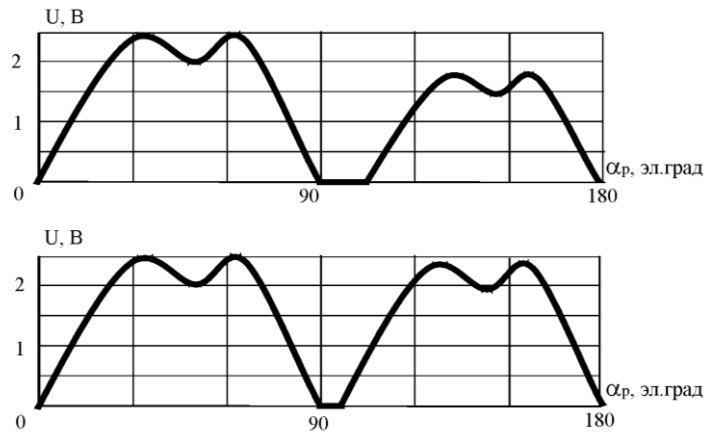


Рис. 3. Кривые огибающей трансформаторных ЭДС

Заключение. Полученные результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что наиболее ярко эффект анизотропии проявляется в двухполюсных машинах, в то же время с ростом числа полюсов машины влияние этого эффекта ослабевает. Это можно объяснить тем, что технологический процесс прокатки стали имеет только два «полюса»: продольное и поперечное направление проката.

Библиографический список

1. Усынин, Ю.С. Генераторная установка с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, К.М. Виноградов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2007. – № 12 (84). – С. 37–40.
2. Усынин, Ю.С. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов // Электричество. – 2007. – № 3. – С. 21–26.
3. New Brushless Synchronous Machine for Vehicle Application / Yu.S. Usinin, M.A. Grigorjev, K.M. Vinogradov, S.P. Gladyshev // SAE Technical Papers. – 2007. – № 1

[К содержанию](#)