

УДК 621.313.32

Е.М. Огарков, С.Е. ЕкимовПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЯВНОПОЛЮСНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Угловая характеристика синхронного генератора имеет большое значение для оценки статической устойчивости и перегрузочной способности машины. Под статической устойчивостью синхронного генератора понимается ее способность сохранять синхронное вращение при изменении внешнего вращающего момента, приложенного к его валу. При экспериментальном исследовании синхронных генераторов наиболее сложным является построение угловой характеристики, что обусловлено проблемами с определением угла между векторами напряжения и электродвижущей силы. Таким образом, в данной работе рассматривается простой вариант определения угловой характеристики неявнополюсного синхронного генератора при активной нагрузке. При активной нагрузке генератора точность определения угла θ , сопротивления x_d и мощности P можно повысить за счет учета влияния сопротивлений обмотки якоря. Рассматриваемый вариант позволяет по экспериментальным данным рассчитать и построить угловую характеристику синхронного генератора. Данная работа отличается простотой и может успешно использоваться в учебных лабораториях электрических машин. В рассматриваемом эксперименте двигатель постоянного тока ПЛ-072 вращает ротор асинхронного двигателя с фазным ротором IMM71B4Y3, в обмотку ротора подается постоянный ток, и к трехфазной обмотке статора подключаются активные сопротивления. При этом асинхронный двигатель переводится в режим работы неявнополюсного синхронного генератора с активной нагрузкой. Полученная характеристика отличается от классической, так как максимум мощности достигается при угле $\theta = 45^\circ$. Отличие обусловлено тем, что классическая характеристика снимается при $U = \text{const}$, а в нашем опыте напряжение изменялось в широких пределах. Экспериментальная проверка изложенного метода проводилась на лабораторном стенде.

Ключевые слова: неявнополюсный синхронный генератор, эксперимент, активная нагрузка, угловая характеристика, векторная диаграмма, учебная лаборатория.

E.M. Ogarkov, S.E. Ekimov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

COMPUTATION OF AN ANGULAR CHARACTERISTIC OF A NOT EXPLICITLY POLE SYNCHRONIC GENERATOR

An angular characteristic of a synchronic generator has a great importance for an estimating a static stability and overloading ability of a machine. The static stability of a synchronic generator it is understood as its ability to save a synchronic rotation under the changing of the outer torque applied to its shaft. While an experimental research of synchronic generators the most difficult is the constructing of an angular characteristic that it is due to the problems of defining an angular between the vectors of an electromoving force. So, in this paper it is considered a simple variant of defining an angular characteristic of the not explicitly pole synchronic generator under an active loading. Having an active loading of the generator it is possible to raise the precision of defining the angular, resistance x_2 and power P with the help of influence of resistance of winding

of an anchor. According to the experimental data the considering variant lets calculate and construct an angular characteristic of the synchronic generator. This paper differs by its simplicity and can be successfully used in the training laboratories of electrical machines. In our experiment the engine of a direct current PL-072 rotates the rotor of an asynchronous engine with a phased rotor IMM71B4Y3, the direct current is applied to the winding of a rotor, and an active resistance is applied to the three-phased winding of a stator. By this an asynchronous engine is tuned to the regime of the work of the not explicitly pole synchronic generator with an active loading. Characteristic which was got differs from the classical one as a maximum power is reached under the angle equaled to 45 degrees. This difference is provided that the classical characteristic is measured when U equals *const*, and in our experiment voltage changed in a wide range. An experimental examination of the used method was held on a training rig.

Keywords: a not explicitly pole synchronic generator, an experiment, an active loading, an angular characteristic, vector diagram, a training laboratory.

При экспериментальном исследовании синхронных генераторов наиболее сложным является построение угловой характеристики, что обусловлено проблемами с определением угла между векторами напряжения и электродвижущей силы. Исследуемый генератор относится к классу неявнополюсных, упрощенная векторная диаграмма которых показана на рис. 1. Подробное описание векторных диаграмм синхронных генераторов дается в фундаментальных трудах [1–6]. На рис. 1 приняты следующие обозначения: \dot{E}_0 – ЭДС от основного магнитного потока, создаваемого током возбуждения; \dot{U} – напряжение обмотки якоря; \dot{I} – ток якоря; x_a – индуктивное сопротивление реакции якоря; θ – угол между векторами \dot{U} и \dot{E}_0 ; ψ – угол между векторами ЭДС и тока; ϕ – угол сдвига тока относительно напряжения.

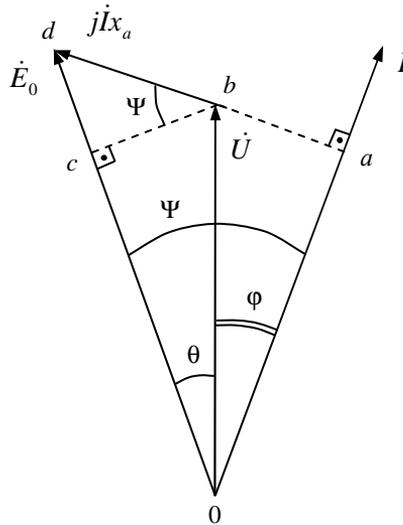


Рис. 1. Упрощенная диаграмма неявнополюсного синхронного генератора при активно-индуктивной нагрузке

На этой диаграмме прямая ad перпендикулярна вектору тока, а отрезок bc перпендикулярен вектору ЭДС. Угол между отрезками bc и bd равен углу между векторами \dot{E}_0 и \dot{I} , так как стороны этих углов взаимно перпендикулярны.

Значения U , E_0 , I и φ легко определяются в процессе эксперимента. Из диаграммы (см. рис. 1) следует равенство:

$$oa = U \cos \varphi = E_0 \cos \psi. \quad (1)$$

При известных значениях U , E_0 , и φ из равенства (1) можно определить угол ψ :

$$\cos \psi = \frac{U}{E_0} \cos \varphi, \quad (2)$$

$$\psi = \arccos(\cos \psi). \quad (3)$$

После определения угла ψ по рис.1 находим угол θ ,

$$\theta = \psi - \varphi. \quad (4)$$

По диаграмме (см. рис. 1) можно записать равенство

$$bc = U \sin \theta = I x_a \cos \psi. \quad (5)$$

При известных значениях U , θ , I и ψ из равенства (5) находим сопротивление реакции якоря:

$$x_a = \frac{U \sin \theta}{I \cos \psi}. \quad (6)$$

Мощность синхронного генератора рассчитывается по известной формуле:

$$P = \frac{3UE_0}{x_a} \sin \theta. \quad (7)$$

Угловая характеристика $P = F(\theta)$ рассчитывается по (7) при известных значениях U , E_0 и x_a . Следует отметить, что формулы (1)–(7) являются приближенными, так как в них не учитывается влияние активного и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки якоря генератора.

При активной нагрузке генератора точность определения угла θ , сопротивления x_a и мощности P можно повысить за счет учета влияния сопротивлений обмотки якоря.

Векторная диаграмма генератора при активной нагрузке показана на рис. 2. При активной нагрузке вектор тока \dot{I} совпадает по

направлению с вектором напряжения \dot{U} . Вектор падения напряжения на активном сопротивлении $\dot{I}R_a$ совпадает по направлению с вектором напряжения \dot{U} . Вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении $j\dot{I}x_a$ перпендикулярен к векторам \dot{I} и \dot{U} .

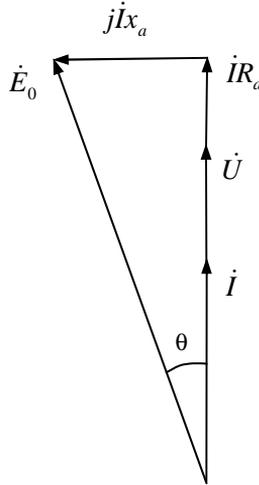


Рис. 2. Векторная диаграмма неявнополюсного синхронного генератора при активной нагрузке

Исходя из диаграммы (см. рис. 2), можно записать два равенства:

$$E_0 \cos \theta = U + IR_a, \quad (8)$$

$$E_0 \sin \theta = Ix_a. \quad (9)$$

При известных значениях E_0 , U , I и R_a из равенства (8) находят $\cos \theta$ и угол θ :

$$\cos \theta = \frac{U + IR_a}{E_0}, \quad (10)$$

$$\theta = \arccos(\cos \theta). \quad (11)$$

При известных значениях E_0 , θ и I из равенства (9) определяем сопротивление x_a :

$$x_a = \frac{E_0 \sin \theta}{I}. \quad (12)$$

Мощность синхронного генератора рассчитывается по формуле (7).

Экспериментальная проверка изложенного метода проводилась на лабораторном стенде. На этом стенде имеется двухмашинный агре-

гат, состоящий из двигателя постоянного тока ПЛ-072 и асинхронного двигателя с фазным ротором ИММ71В4У3. Валы этих машин механически соединены между собой.

При эксперименте двигатель постоянного тока вращает ротор асинхронного двигателя ИММ71В4У3, в обмотку ротора подается постоянный ток, а к трехфазной обмотке статора подключаются активные сопротивления. При этом асинхронный двигатель с фазным ротором переводится в режим работы неявнополюсного синхронного генератора с активной нагрузкой. Опыт проводился при постоянном токе возбуждения и частоте вращения $n_0 = 1500$ об/мин. При увеличении нагрузки напряжение генератора снижается, а угол θ возрастает. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Рабочие характеристики генератора ИММ71В4У3

U , В	145	118	92	72	58	32	Примечание $R_a = 19$ Ом $E_0 = 145$ В $\cos \varphi = 1$
I , А	0	0,3	0,47	0,5	0,53	0,64	
P , Вт	0	106	130	113	92	61	
$\cos \theta$	1	0,85	0,7	0,58	0,47	0,305	
θ°	0	31°	45°	55°	62°	72°	

В таблице значения U , E_0 , I получены экспериментально. Мощность синхронного генератора рассчитывается при $\cos \varphi = 1$.

$$P = 3UI. \quad (13)$$

По формулам (10) и (11) находятся $\cos \theta$ и угол θ° . Полученные значения $\cos \theta$ и угла θ° заносятся в таблицу. По данным таблицы построена угловая характеристика синхронного генератора, показанная на рис. 3.

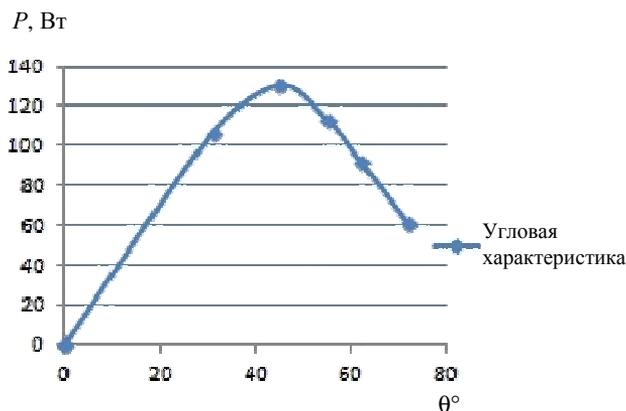


Рис. 3. Угловая характеристика СГ

Эта характеристика отличается от классической, так как максимум мощности достигается при угле $\theta = 45^\circ$. Отличие обусловлено тем, что классическая характеристика снимается при $U = \text{const}$, а в нашем опыте напряжение изменялось в широких пределах.

Изложенный метод построения угловой характеристики может быть использован в учебном процессе при экспериментальном исследовании синхронных машин [7–10].

Библиографический список

1. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 2. – М.: Энергия, 1965. – 704 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
4. Сипайлов Г.А., Кононенко Е.В., Хорьков К.А. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 1980. – 287 с.
5. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.
6. Важнов А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1969.
7. Кимбарк Э. Синхронные машины и устойчивость электрических систем. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960.
8. Юферов Ф.М., Осин И.Л. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.
9. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. – М., 1987.
10. Сергеев П.С. Электрические машины. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1957.

References

1. Kostenko M.P., Piotrovskii L.M. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Moscow: Energiia, 1965, vol. 2, 704 p.
2. Vol'dek A.I. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Leningrad: Energiia, 1974. 840 p.
3. Ivanov-Smolenskii A.V. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Moscow: Energiia, 1980. 928 p.
- 4 Sipailov G.A., Kononenko E.V., Khor'kov K.A. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1980. 287 p.

5. Osin I.L., Shakarian Iu.G. Elektricheskie mashiny: Sinkhronnye mashiny [Electric machinery: Synchronous machines]. Moscow: Vysshaia shkola, 1990. 304 p.

6. Vazhnov A.I. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Leningrad: Energiia, 1969.

7. Kimbark E. Sinkhronnye mashiny i ustoichivost' elektricheskikh sistem [Synchronous machines and electrical systems stability]. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat, 1960.

8. Iuferov F.M., Osin I.L. Elektricheskie mashiny avtomaticheskikh ustroystv [Electric machinery of automatic devices]. Moskovskii energeticheskii institut, 2003.

9. Bruskin D.E., Zorokhovich A.E., Khvostov V.S. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Moscow, 1987.

10. Sergeev P.S. Elektricheskie mashiny [Electric machinery]. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat, 1957.

Сведения об авторах

Огарков Евгений Матвеевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lis@pstu.ac.ru).

Екимов Сергей Евгеньевич (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sergey.ekimov.93@mail.ru).

About the authors

Ogarkov Evgeny Matveevich (Perm, Russian Federation) is Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Electro mechanics of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskij pr., lis@pstu.ac.ru).

Ekimov Sergey Evgenjevich (Perm, Russian Federation) is a student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskij pr., sergey.ekimov.93@mail.ru).

Получено: 15.04.2015