

УДК 621.313

В. П. Шевченко, канд. техн. наук,
О. Б. Бабийчук

СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Аннотация. Приведен результат анализа свойств синхронного явнополюсного двигателя при регулировании частоты вращения изменением частоты питающего напряжения для режимов работы при постоянном токе возбуждения и постоянном коэффициенте мощности.

Ключевые слова: синхронный двигатель, регулирование частоты вращения, частота питающего напряжения, ток возбуждения, коэффициент мощности

V. P. Shevchenko, PhD.,
O. B. Babychuk

SYNCHRONOUS ENGINE IN FREQUENCY CONTROL

Abstract. The result of explicit pole synchronous drive properties analysis in frequency control of rotation by regulating the supply voltage frequency for the direct current excitation and permanent power-factor modes is resulted.

Keywords: synchronous engine, adjusting of rotation frequency, frequency of voltage, current of excitation, power-factor

В. П. Шевченко, канд. техн. наук,
О. Б. Бабийчук

СИНХРОННИЙ ДВИГУН ПРИ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛЮВАННІ

Анотація. Наведений результат аналізу властивостей синхронного явнополюсного двигуна при регулюванні частоти обертання зміною частоти напруги живлення для режимів роботи з постійним струмом збудження та постійним коефіцієнтом потужності.

Ключові слова: синхронний двигун, регулювання частоти обертання, частота напруги живлення, струм збудження, коефіцієнт потужності

Введение. По программе расчета синхронного двигателя (СД), использующей математическую модель [1, 2], выполнен расчет двигателя при различных значениях частоты питающего напряжения.

Объект исследования – синхронный явнополюсный двигатель СДМ-215-26-32 номинальной мощностью 400 кВА, частотой сети 50 Гц, частотой вращения 187,5 об/мин, $\cos \varphi_1 = 0,9$, $M_H = 20,4 \text{ кНм}$
 $I_{1H} = 46,7 \text{ А}$, $I_{BH} = 172 \text{ А}$.

Цель работы – расчет и сравнение энергетических показателей частотно регулируемого СД для установившегося режима работы как при постоянном токе возбуждения ($I_B = \text{const}$), так и неизменном коэффициенте мощности ($\cos \varphi = \text{const}$) и законе регулирования $U/f = \text{const}$, соответствующего постоянству момента на валу двигателя.

Материалы исследования. В теории частотно-регулируемого СД важным вопросом

является определение электромагнитного момента, потерь, КПД, коэффициента мощности, перегрузочной способности при регулировании по указанному закону.

U-образные характеристики двигателя (рис. 1) показывают, что уменьшение частоты питающего напряжения (при номинальной мощности $P_1^* = 1$) приводит к смещению их в область больших значений тока статора.

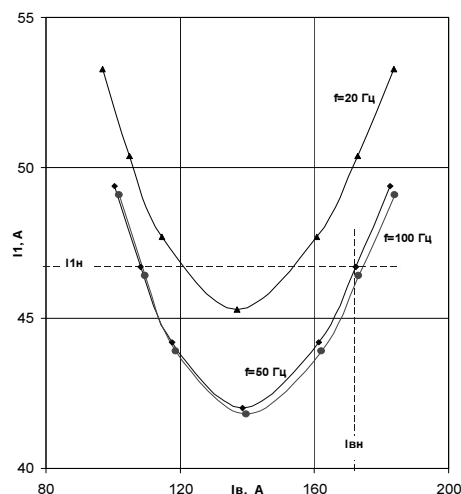


Рис. 1. Зависимость $I_1 = \varphi(I_B, f)$

Изменение тока возбуждения при регулировании по условию $\cos \phi = const$ определяется U-образными характеристиками и показаны на рис. 2.

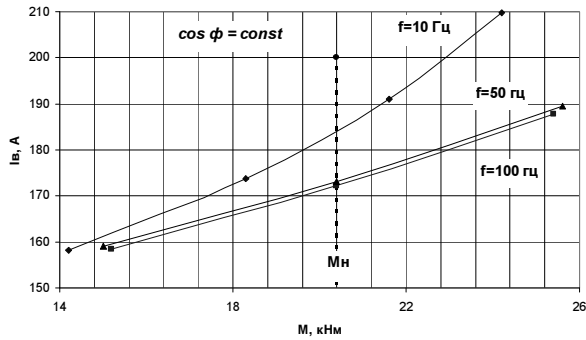


Рис. 2. Зависимость $I_B = f(M, f)$

Изменение тока (I_B) возбуждения (рис. 2) и тока (I_1) статора (рис. 3) определяют изменение перегрева ($\Delta \theta$) обмотки возбуждения (рис. 4, а), обмотки статора (рис. 4, б), стали статора (рис. 4, в) и полных потерь в двигателе (рис. 5) при регулировании. Перегрев всех элементов машины, увеличивающийся при уменьшении частоты питающего напряжения является основным фактором, определяющим допустимую нагрузку двигателя.

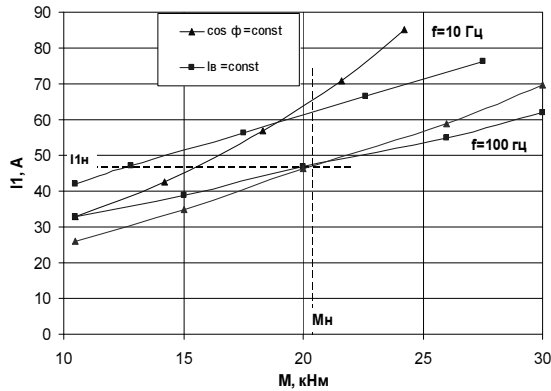
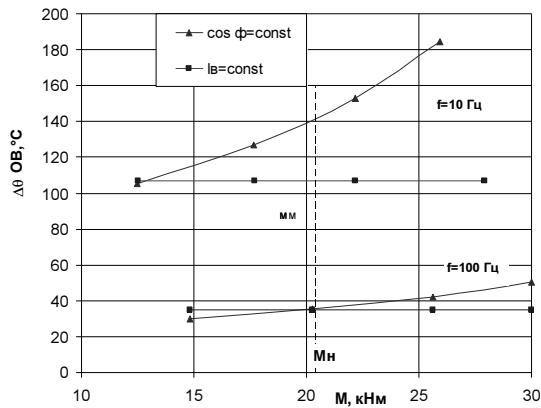
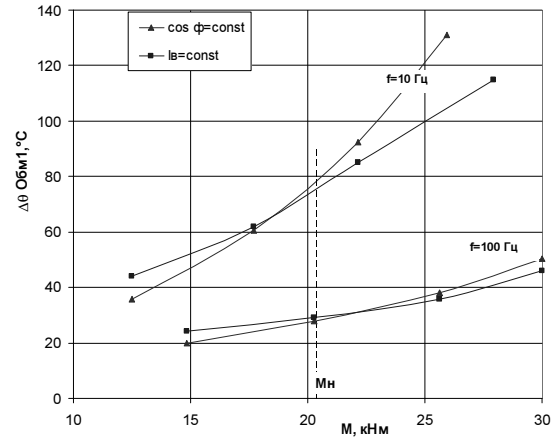


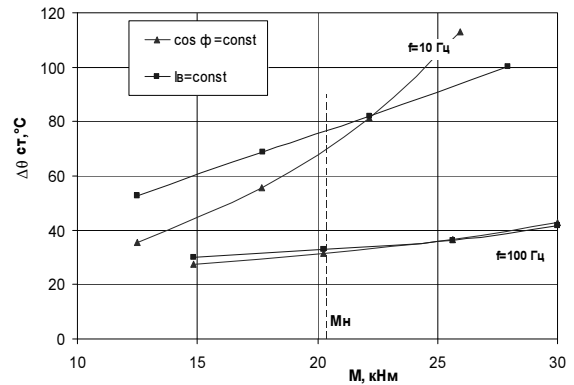
Рис. 3. Зависимость $I_1 = \varphi(M)$



а



б



в

Рис. 4. Зависимость $\Delta \theta = \varphi(M, f)$

- а – обмотка возбуждения;
- б – обмотка статора;
- в – сталь статора

Характер изменения полных потерь ($\Delta P_{\text{сум}}$) при регулировании (рис. 5) определяется диапазоном изменения тока якоря (рис. 1), определяемым как диапазоном изменения частоты питающего напряжения, так и условием регулирования.

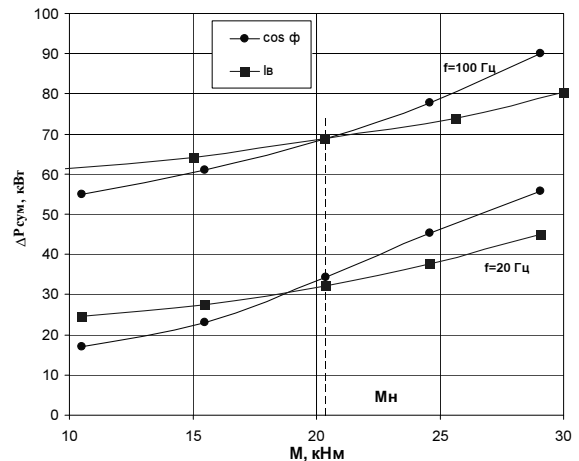


Рис. 5. Зависимость $\Delta P_{\text{сум}} = \varphi(M, f)$

Расчетные значения коэффициента мощности в процессе регулирования при $I_{\hat{a}} = const$ (рис. 6) и коэффициента полезного действия для двух условий регулирования (рис. 7) представлены для двух предельных расчетных значений частоты питающего напряжения. При этом, если изменение коэффициента мощности очень незначительно (рис. 6), что подтверждается и U-образными характеристиками (рис. 1), то изменение КПД определяется широким диапазоном изменения полных потерь при регулировании (рис. 5).

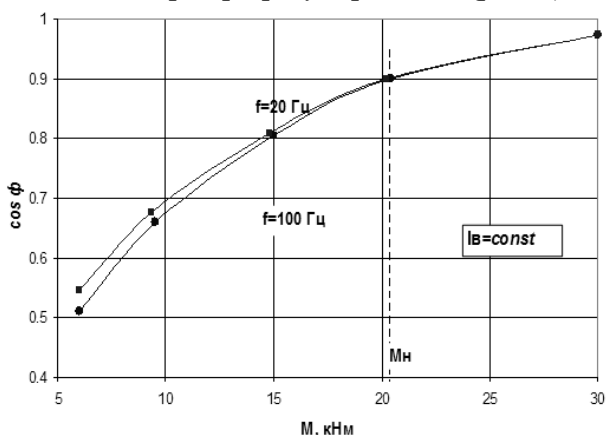


Рис. 6. Зависимость $\cos \varphi = \varphi(M, f)$

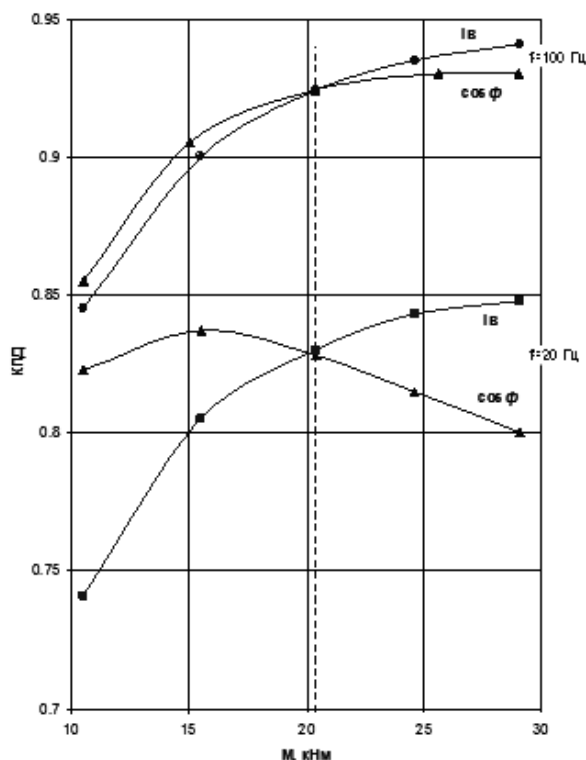


Рис. 7. Зависимость $\eta = \varphi(M, f)$

Выводы. Выполненные расчетные исследования позволяют на этапе проектирования оценить энергетические показатели частотно-регулируемого СД при принятых условиях ($I_B = const$ или $\cos \varphi = const$) и законе регулирования $U/f = const$, а также определить допустимую по условию перегрева нагрузку машины при разных частотах питающего напряжения.

Список использованной литературы

1. Домбровский В. В. Расчет явнополусных синхронных машин / В. В. Домбровский, Г. Б. Пинский // Энергоатомиздат. – Л. : 1984, – 133 с.
2. Машины синхронные явнополусные высоковольтные. Методика электромагнитных расчетов. – РТМ 16.800.586–78. Издание официальное. – 114 с.
3. Шевченко В. П. Аналіз теплового стану синхронних явнополусних двигунів на основі еквівалентних теплових схем / В. П. Шевченко, В. Л. Кобрін // Електромашинобудування та електрообладнання. – К. : Техніка. – 2005. – Вип. 64. – С. 62 – 66.
4. Шевченко В. П. Повна тепла еквівалентна схема синхронного явнополусного двигуна/ В. П. Шевченко, О. Б. Бабийчук, В. Л. Кобрін // Електромашинобудування та електрообладнання. – К. : – 2005. – Вип. 65. – С. 65 – 71.
5. Кобрін В. Л. Раціональна дискретизація області розрахунку теплового поля методом кінцевих елементів в електромеханічних перетворювачах/ В. Л. Кобрін, О. Б. Бабийчук, В. П. Шевченко // Електромашинобудування та електрообладнання. – К. : Техніка. – 2006. – № 67. – С. 95 – 97.
6. Титов М. П. Частотно-регулируемый синхронный электродвигатель / М. П. Титов. – Братск, 1998. – 139 с.
7. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И. А. Сыромятников // Энергоатомиздат., – М. : 1984. – 240 с.
8. Важнов А. И. Электрические машины/ А. И. Важнов // Энергия. – Л. : 1969. – 768 с.

9. Ali Emadi. Energy-efficient Electric Motors, Third Edition, Revised and Expanded, (2005), New York, *Marsel Dekker Inc.*, 400 p.

10. Pyrhönen J., Jokinen T., Hrabovcová V.; translated by Hanna Niemelä. Design of Rotating Electrical Machines, (2008), *John Wiley & Sons, Ltd.*, 496 p.

Получено 06.05.2014

References

1. Dombrovskii V.V., and Pinski G.B. Raschet yavnopolyusnykh sinkhronnykh mashin [Calculation of Salientpole Synchronous Machine], (1984), Leningrad, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 133 p. (In Russian).

2. Mashiny sinkhronnye yavnopolyusnye vysokovol'tnye. Metodika elektromag-nitnykh raschetov. – RTM 16.800.586–78. Izdanie ofit-sial'noe, [Machines Synchronous high Saliency. Methodology Electromagnetic Calculations. RTM 16.800.586–78], *Official Publication*, 114 p. (In Russian).

3. Shevchenko V.P., and Kobrin V.L. Analiz teplovogo stanu sinkhronnykh yavnopolyusnykh dviguniv na osnovi ekvivalentnykh teplovikh skhem, [Analiz Thermal Become Synchronous Saliency Dviguniv on Osnovi Ekvivalentnih Thermal Scheme], (2005), *Elektromashinobuduvannya ta Elektroobladnannya*, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, Vip. 64, pp. 62 – 66 (In Russian).

4. Shevchenko V.P., Babychuk O.B., Kobrin V.L.. Povna teplova ekvivalentna skhema sinkhronnogo yavnopolyus-nogo dviguna, [Povna Thermal Ekvivalent Circuit Sinkhronnogo Yavnopolyus Strength Dvigunov], (2005), *Elektromashinobuduvannya ta Elektroobladnannya*, Kiiv, Ukraine, *Tekhnika*, Vip. 65, pp. 65 – 71 (In Russian).

5. Kobrin V.L., Babychuk O.B., and Shevchenko V.P. EleRatsional'na diskretizatsiya oblasti rozrahunku teplovogo polya metodom kintsevikh elementiv v elektro-mekhanichnikh peretvoryuvachakh, [Ratsionalna Diskretizatsiya of Region Rozrahunku Thermal Field by Kintsevih Elementiv in Electronemehani-chnikh Retvoryuvachah], (2006), *Eelektromashinobuduvannya ta Elektroobladnannya*. Kiev,

Ukraine, *Tekhnika*, No. 67, pp. 95 – 97 (In Russian).

6. Titov M.P. Chastotno-reguliruyemyi sinkhronnyi elektrodvigatel', [Variable-frequency Synchronous Motor], (1998). Bratsk, Russia, 139 p. (In Russian).

7. Syromyatnikov I.A. Rezhimy raboty asinkhronnykh i sinkhronnykh elektrodvigatelei, [Modes of Asynchronous and Synchronous Motors], (1984), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 240 p. (In Russian).

8. Vazhnov A.I. Elektricheskie mashiny, [Electrical Machines], (1969), Leningrad, Russian Federation, *Energiya*, 768 p.

9. Ali Emadi. Energy-efficient Electric Motors, Third Edition, Revised and Expanded, (2005), New York, *Marsel Dekker Inc.*, 400 p.

10. Pyrhönen J., Jokinen T., and Hrabovcová V.; translated by Hanna Niemelä. Design of Rotating Electrical Machines, (2008), *John Wiley & Sons, Ltd.*, 496 p.



Шевченко Владимир Петрович, доц. каф. электрических машин Одесского нац. политехн. ун-та.
E-mail: shevospu@gmail.com



Бабийчук Ольга Борисовна, ст. преп. каф. электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского нац. политехн. ун-та.
E-mail: babychuk@ukr.net