

О РАСЧЕТЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ПРИ ФАЗОВОМ КОМПАУНДИРОВАНИИ

А. Н. ЩИПКОВ

(Представлена научным семинаром электромеханического факультета)

В настоящее время ставится вопрос о массовом применении в народном хозяйстве синхронных двигателей. Это обусловлено некоторыми преимуществами синхронных двигателей перед асинхронными [1]. Регулирование тока возбуждения синхронных двигателей позволяет полнее выявить эти преимущества и использовать их для улучшения технико-экономических показателей эксплуатации этих машин. Для синхронных двигателей малой и средней (до 100—150 кВт) мощностей наиболее рентабельным является закон регулирования тока возбуждения на постоянство коэффициента мощности (минимум потерь), в частности, при $\cos\varphi = 1$ [2, 3]. Исследования схем фазового компаундирования синхронных двигателей [4, 5, 6, 8] выявили возможность их использования для поддержания постоянства коэффициента мощности двигателя при значительном диапазоне изменения нагрузки, причем одновременно увеличивалась значительно и перегрузочная способность двигателя. Эти схемы наиболее просты, дешевы и надежны [6, 7]. Стабилизирующий трехобмоточный трансформатор «ТС» в указанных схемах (рис. 1) выполняет роль не только понижающего трансформатора, но и интегратора, в котором выходной ток I_2 определяется током статора, напряжением его и углом между ними.

В [4, 5, 8] были предложены методы расчета оптимальных параметров схемы фазового компаундирования с трехобмоточным трансфор-

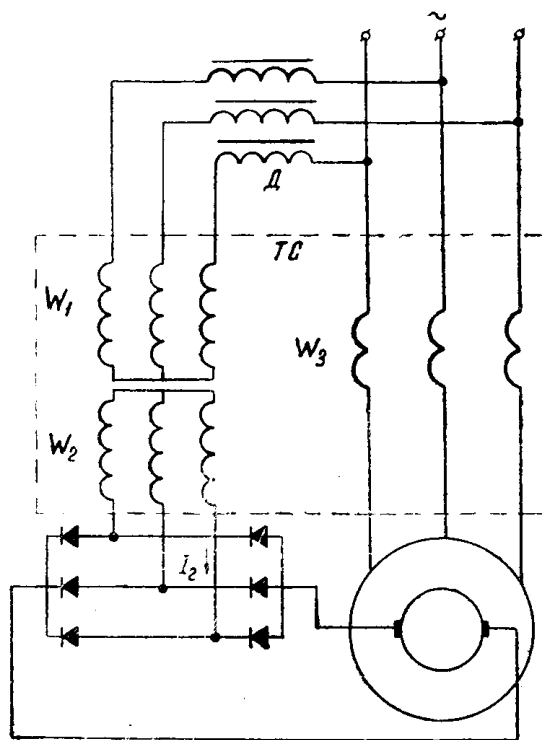


Рис. 1.

матором и рабочих характеристик двигателя с указанной схемой возбуждения. Определение параметров и расчет характеристик производился без учета явнополюсности синхронного двигателя без учета изменения его параметров x_{ad} , x_s при различных режимах работы из-за насыщения магнитной системы.

Учет явнополюсности и изменения параметров двигателя возможен при использовании U -образных характеристик, которые можно построить по векторной диаграмме или же снять экспериментально с учетом всех активных сопротивлений цепи статора (рис. 2).

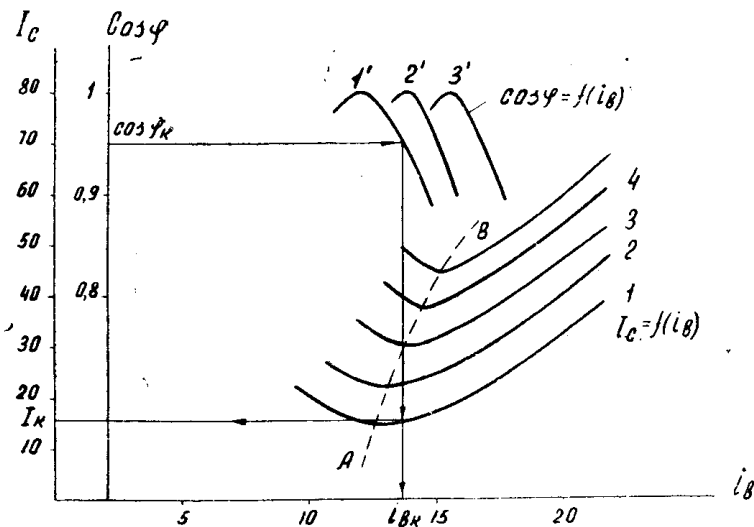


Рис. 2.

Для двигателей малой и средней мощности при расчете рабочих характеристик особо тщательно необходимо учитывать активные сопротивления статора, последовательной обмотки трансформатора и вносимые в цепь статора через трансформатор „ТС“ сопротивления выпрямителя и обмотки возбуждения. Задаваясь каким-нибудь значением $\cos \varphi$, по характеристике $\cos \varphi = f(i_b)$ определяем для одной какой-то мощности P_k (характеристика 1 рис. 2) ток возбуждения i_{bk} и по U -образной кривой находим ток статора $I_{ск}$, соответствующий при данной мощности P_k значению $\cos \varphi_k$. Таким образом, можно построить семейство регулировочных характеристик $i_b = f(I_c)$ для определенных значений $\cos \varphi$. Для случая $\cos \varphi = 1$ регулировочной характеристикой будет кривая AB , проходящая через вершины U -образных характеристик. Далее, используя регулировочную характеристику, построенную для необходимого значения $\cos \varphi$ (в нашем случае $\cos \varphi = 1$), можно определить параметры системы фазового компаундирования [4, 5, 8] и построить необходимые рабочие характеристики (рис. 4). Для определения перегрузочной способности и запаса устойчивости двигателя с фазовым компаундированием при медленно меняющейся нагрузке необходимо построить угловую характеристику $\Theta_k = f(P_1)$, где Θ_k — угол между осями полюсов статора и ротора в рабочих режимах. Построение угловой характеристики с учетом всех особенностей данного двигателя (явнополюсности, величины изменения x_{ad} , x_s , x_q , значений сопротивлений в цепи статора и т. д.) можно произвести следующим образом.

1. Строим семейство кривых $\Theta = f(P_1)$ (штрихпунктирные линии на рис. 3) для различных значений тока возбуждения двигателя. Построение производится с учетом активных сопротивлений в цепи

статора, причем мощность, подводимая к двигателю P_1 , определяется по формуле [9]:

$$P_1 = \frac{3U_1 E_{10}}{x_{dr}} \sin \Theta + \frac{3U_1^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{\beta}{x_{dr}} \right) \sin 2\Theta + \\ + \frac{3U_1 \cdot r_1 \cos \Theta}{x_{dr} \cdot x_q} (E_{10} - U_1 \beta \cos \Theta);$$

$$x_{dr} = x_d + \frac{r_1}{x_q}; \quad \beta = 1 + \frac{r_1}{x_q} \cdot \operatorname{tg} \Theta; \quad r_1 = r_{ст} + r_э,$$

$r_э$ — результирующее активное сопротивление в цепи статора, вносимое схемой фазового компаундирования [5].

2. Строим статическую кривую $i_b = f(P_1)$ (рис. 3) для системы фазового компаундирования.

3. Задавая различными значениями мощности P_1 по характеристике $i_b = f(P_1)$, находим соответствующее значение i_b . По заданной мощности P_1 и полученному значению тока возбуждения i_b из семейства кривых $\Theta = f(P_1)$ определяем искомый угол Θ . Таким образом, производится построение зависимости угла Θ от подводенной мощности P_1 при фазовом компаундировании (рис. 3, кривая $\Theta_k = f(P_1)$).

На рис. 4 приведены для сравнения рабочие характеристики, полученные расчетом и экспериментально.

Работы проводились на синхронной машине типа МСА 72-4А:

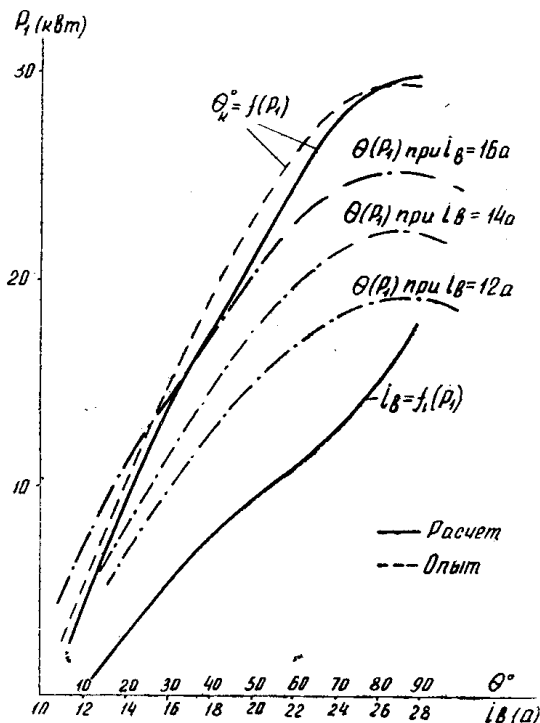


Рис. 3.

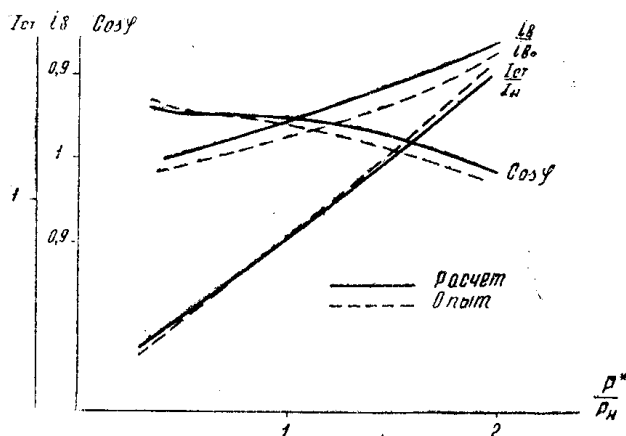


Рис. 4.

$$P_H = 15 \text{ кВА (12 кВт)}, \quad r_{ст} = 0,15 \text{ Ом}, \\ I_H = 37,6 \text{ А}, \quad r_э = 0,0175 \text{ Ом}, \\ U_H = 230 \text{ В},$$

Выводы

1. Используя U -образные и регулировочные характеристики, можно при расчете рабочих характеристик учесть некоторые особенности синхронных двигателей (явнополюсность, изменение степени насыщения).
2. Ввиду малого изменения коэффициента мощности двигателя при значительных изменениях нагрузки можно использовать схему фазового компаундирования для стабилизации $\cos\varphi$.
3. Расчет угловой характеристики показал значительную перегрузочную способность синхронного двигателя при фазовой схеме компаундирования, что позволяет при совместном проектировании синхронных двигателей и схем компаундирования для них снизить вес двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Сыромятников. Синхронный двигатель электропривода — важнейший элемент системы электроснабжения промышленных предприятий. Доклады к IV Всесоюзному совещанию по автоматизированному электроприводу. Изд. ВНИИЭМ, 1964.
 2. И. А. Сыромятников. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей, ГЭИ, 1963.
 3. Д. П. Петелин. Закон регулирования возбуждения синхронного двигателя на минимум потерь. Известия ОТН АН СССР, серия «Энергетика — автоматика» № 4, 1959.
 4. Н. М. Тарасов. Исследование работы схемы возбуждения синхронных двигателей малой и средней мощности от полупроводниковых выпрямителей. Известия вузов, «Электромеханика» № 4, 1958.
 5. Н. С. Сиунов, Н. М. Тарасов. Графоаналитический расчет характеристик компаундированных синхронных двигателей. Известия вузов, «Электромеханика», № 1, 1959.
 6. В. Л. Иносов, В. Е. Крутикова, В. А. Каменева. Синхронные двигатели с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей. ГИТЛ, 1960.
 7. С. И. Логинов. Технико-экономическое сопоставление синхронных двигателей с различными системами возбуждения. Известия вузов, «Электромеханика», № 7, 1963.
 8. Р. Б. Гончаренко, Я. Б. Данилевич, С. И. Логинов. Исследование и расчет системы возбуждения синхронного двигателя с трехобмоточным трансформатором и полупроводниковыми выпрямителями. Сб. работ по электромеханике, № 8, 1963.
 9. Г. Н. Петров. Электрические машины. ГЭИ, 1963.
-