УДК 621.313.333.2

В. С. Петрушин, д-р техн. наук,
Ю. Р. Плоткин, канд. техн. наук,
Р. Н. Еноктаев, **М. Б. Николаев**

ПРОЕКТНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. *Дана классификация проектных диапазонных ограничений, применяемых при разработке регулируемых асинхронных двигателей. Описано использование диапазонных ограничений в программе автоматизированного оптимизационного проектирования регулируемых асинхронных двигателей. Использование диапазонных ограничений влияет на результаты проектного синтеза регулируемых асинхронных двигателей.*

Ключевые слова*: регулируемый асинхронный двигатель, автоматизированное оптимизационное проектирование, проектные диапазонные ограничения*

V. Petrushin, ScD.,
Y. Plotkin, PhD.,
R. Jenoktajev, **M. Nikolajev**

DESIGN LIMITATIONS IN THE DEVELOPMENT OF CONTROLLED INDUCTION MOTORS

Abstract. *A classification of the design range of restrictions applicable to the development of controlled asynchronous motors. Use a range of restrictions described in the program automated optimization design of controlled asynchronous motors. Using a range of restrictions significantly affect the results of design synthesis controlled asynchronous motors.*

Keywords: *controlled induction motor, automated optimization design, a design range restrictions*

В. С. Петрушин, д-р техн. наук,
Ю. Р. Плоткін, канд. техн. наук,
Р. М. Єноктаєв, **М. Б. Ніколаєв**

ПРОЕКТНІ ОБМЕЖЕННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ РЕГУЛЬОВАНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Анотація. *Дана класифікація проектних діапазонних обмежень, які застосовуються при розробці регульованих асинхронних двигунів. Описано використання діапазонних обмежень у програмі автоматизованого оптимізаційного проектування регульованих асинхронних двигунів. Використання діапазонних обмежень помітно впливає на результати проектного синтезу регульованих асинхронних двигунів.*

Ключові слова: *регульований асинхронний двигун, автоматизоване оптимізаційне проектування, проектні діапазонні обмеження*

Введение. Использование серийных асинхронных двигателей (АД) в регулируемых электроприводах не оптимально по массогабаритным, энергетическим и другим показателям. Поэтому необходимо проектирование специальных регулируемых асинхронных двигателей (РАД) с улучшенными регулировочными, пусковыми, динамическими и виброакустическими свойствами [1 – 3]. Применение РАД, спроектированных с учетом специфики их работы в условиях регулируемого ЭП вместо общепромышленных АД, дает возможность значительно снизить массу, габариты и стоимость ЭП, улучшить его функциональные показатели. Для автоматизированного оптимизационного проектирования специальных РАД с учетом особенностей их работы требуется разработка программного обеспечения. В программном обеспечении следует предусмотреть учет проектных ограничений.

© Петрушин В.С., Плоткин Ю.Р., Еноктаев Р.Н., Николаев М.Б., 2014

Ограничения при проектировании электрических машин делятся на конструктивные, связанные с размерами активной части, накладываемые конструкцией и технологией, и функциональные. При проектировании АД серий 4А, 4АИ, АИ были применены функциональные ограничения, вытекающие из требований стандартов (допустимые значения пускового и максимального моментов, пускового тока, температуры обмотки) и требований надежности (скорость нарастания температуры в режиме короткого замыкания) [4, 5].

Постановка задач исследования. Работа АД в регулируемом ЭП характеризуется существенными особенностями, которые и определяют предъявляемые к ним специфические технические требования [3, 6]. Эти особенности связаны с изменением в заданных пределах, а часто и по заданным законам, значений частоты вращения двигателя n, величины и частоты напряжения питания двигателя, наличием и необходимостью учета временных высших гармонических составляющих. В силу этого специфическими

являются математические модели (ММ) электромагнитных, электромеханических, энергетических, тепловентиляционных процессов в установившихся и переходных режимах работы двигателей, расчетов дополнительных магнитных потерь, механических и виброакустических показателей. АД в ряде систем регулируемого ЭП питается полигармоническим напряжением с переменными параметрами [7, 8].

При проектировании РАД функциональные ограничения, к которым относятся механические, тепловые, динамические и виброакустические, должны быть удовлетворены во всем диапазоне регулирования [3].

Ограничения, обусловленные техническим заданием и стандартами, лимитируют максимальные (перегрев, шумы, вибрации и т.п.) и минимальные (перегрузочная способность, время переходного процесса, броски токов и моментов в переходных процессах и т.п.) значение рассматриваемых функциональных показателей. Целесообразно выполнить проверку удовлетворения требованиям и ограничениям по нескольким функциональным показателям. Вектор лимитируемых показателей может быть представлен

$$\left[\boldsymbol{L}(n)\right]=\begin{bmatrix}\theta_c(n)\\ k_M(n)\\ BT(n)\\ \vdots\end{bmatrix},$$

где $\theta_c(n)$ – перегрев обмотки статора, $k_M(n)$ – перегрузочная способность, $BT(n)$ – жесткость механической характеристики и т.д.

Система ограничений представляется в виде двух векторов – максимально $\left[\boldsymbol{L_{max}}\right]$ и минимально $\left[\boldsymbol{L_{min}}\right]$ допустимых значений функциональных показателей. При этом во всем диапазоне регулирования частот вращения от n_{min} к n_{max} должно выполняться условие

$$\left[\boldsymbol{L_{max}}\right]_k > \left[\boldsymbol{L}(n)\right]_k > \left[\boldsymbol{L_{min}}\right]_k,$$

где k = 1, 2, … m, а m – количество показателей, имеющих ограничения.

Следует автоматически учитывать функциональные ограничения, как на стадии автоматизированного выбора, так и на стадии оптимизационного проектирования [3, 9].

Материалы и результаты исследований. На кафедре электрических машин Одесского национального политехнического университета разработан программный продукт DIMASDrive, позволяющий осуществить автоматизированное оптимизационной проектирование РАД. Окно задания проектных диапазонных ограничений представлено на рис. 1. Могут проектироваться асинхронные двигатели, различные по конструктивному исполнению, степени защиты, способу охлаждения. Представляется возможным включение в системную проектную модель моделей наиболее распространенных полупроводниковых преобразователей и рассмотрение различных видов и законов регулирования.

Рис. 1. Окно задания проектных диапазонных ограничений

Выводы

Использование диапазонных ограничений существенно влияет на результаты проектного синтеза РАД.

Наиболее важными являются температурные ограничения, но в ряде случаев могут также использоваться механические, виброакустические и динамические ограничения;

Ограничения показателей механических характеристик целесообразно применять при синтезе регулируемого электропривода.

Список использованной литературы

1. Петрушин В. С. Диапазонные критерии оптимальности при проектировании регулируемых асинхронных двигателей / В. С. Петрушин // Труды. Одесского политехнического ун-та. – 2001. – Вып. 1(13). – С. 81 – 86.

2. Петрушин В. С. Система проектирования регулируемых асинхронных двигателей / В. С. Петрушин // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту. – 2002. – Вип. 4 (50). – С. 114 – 117.

3. Петрушин В. С. Учебное пособие «Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе» / В. С. Петрушин. – Одесса : Наука и техника. – 2006, – С. 223 – 225.

4. Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М. : Высшая школа, 2001. – 430 с.

5. Беспалов В. Я. Перспективы создания отечественных электродвигателей нового поколения для частотно- регулируемого электропривода / В. Я. Беспалов // Труды международной конференции Автоматизированный электропривод.–2004. – Магнитогорск : – 2004. – С. 5 – 12.

6. Петрушин В. С. Проектирование асинхронных двигателей для регулируемых электроприводов / В. С. Петрушин, Н. Г. Петрушина, Б. В. Каленик // Труды 5-й Международной (16-й Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2007. – Санкт- Петербург : – 2007. – С. 219 – 222.

7. Petrushin V.S., and Kalenik B.V., (2006), Software for Designing of Asynchronous Induction Machines for Adjustable Speed of Asynchronous Electrical Dive Stems, *20th European Conference on Modelling and Simulation*, Bonn, pp. 333 – 337.

8. Петрушин В. С.Учет высших пространственно- временных гармоник в частотно–регулируемых асинхронных двигателях при анализе переходных процессов / В. С. Петрушин, О. В. Каленик // Научно-практический журнал « Электротехника и Электромеханика». – 2011. – № 1. – С. 46 – 48.

9. Петрушин В. С. К вопросу выбора асинхронных двигателей для систем регулированного электропривода / В. С. Петрушин, А. М. Якимец, Б. В. Каленик Б. В. // Вісник Кременчуцького державного університету. – № 3 2010 (62). – Частина 2. –С. 74 – 78.

Получено 03.07.2014

References

1. Petrushin V.S. Diapazonnye kriterii optimal'nosti pri proektirovanii reguliruemyh asinhronnyh dvigatelej [Range of Optimality Criteria for the Design of Controlled Asynchronous Motors], (2001), *Tr. Odessk. Politehn. Un-ta,* Vol. 1(13), pp. 81 – 86 (In Russian).

2. Petrushin V.S. Sistema proektirovanija reguliruemyh asinhronnyh dvigatelej [System Design of Controlled Asynchronous Motors], (2002), *Visnik Shidnoukraïns'kogo Nac. Un-tu,* Vol. 4(50), pp. 114 – 117 (In Russian).

3. Petrushin V.S. Uchebnoe posobie “Asinkhronnye dvigateli v reguliruemom elektroprivode”[Induction Motors in Adjustable Electric], (2006), Odessa, Ukraine, *Nauka i Tekhnika*, pp. 223 – 225 (In Russian).

4. Gol'dberg O.D., Gurin Ya.S, and Sviridenko I.S. Proektirovanie elektricheskikh mashin [Design of Electrical Machines], (2001), Moscow, Russian Federation, *Vyssh. Shk.,*430 p. (In Russian).

5. Bespalov V.Ya. Perspektivy sozdaniya otechestvennykh elektrodvigatelei novogo pokoleniya dlya chastotno- reguliruemogo elektroprivoda [Prospects for the Development of Domestic Electric Motors for a new Generation of Variable Frequency Drive], (2004), *Trudy Mezhdunarodnoi Konferentsii Avtomatizirovannyi Elektroprivod*, Magnitogorsk, Russian Federation, pp. 5 – 12 (In Russian).

6. Petrushin V.S., Petrushina N.G, and Kalenik B.V. Proektirovanie asinkhronnykh dvigatelei dlya reguliruemykh elektroprivodov [Designing Asynchronous Motors for Adjustable Electric], (2007), *Trudy 5-oi Mezhdunarodnoi (16-oi Vserossiiskoi) Konferentsii po Avtomatizirovannomu Elektroprivodu AEP–2007,* St-Petersburg, Russian Federation, pp. 219 – 222 (In Russian).

7. Petrushin V.S., and Kalenik B.V., (2006), Software for Designing of Asynchronous Induction Machines for Adjustable Speed of Asynchronous Electrical Drive Systems, *20th European Conference on Modelling and Simulation ,* Bonn, pp. 333 – 337 (In English).

8. Petrushin V.S., and Kalenik O.V. Uchet vysshikh prostranstvenno- vremennykh garmonik v chastotno-reguliruemykh asinkhronnykh dvigatelyakh pri analize perekhodnykh protsessov [Allowance for Higher space-time Harmonic Frequency-Controlled Induction Motors in the Analysis of Transient], (2011), *Nauchno-Prakticheskii Zhurnal “Elektrotekhnika i Elektromekhanika”,* No. 1, pp. 46 – 48 (In Russian).

9. Petrushin V.S. K voprosu vybora asinkhronnykh dvigatelei dlya sistem regulirovannogo elektroprivoda [On the Question of the Choice of Induction Motors for Electric Drive Systems Regulated], (2010), *Visnik Kremenchuts'kogo Derzhavnogo Universitetu,* Vol. No. 3(62), pp. 74 – 78 (In Russian).

Петрушин
Виктор Сергеевич,
д-р техн. наук, проф., зав. каф. электрических машин Одесского нац. политехн. ун-та.
65044, Одесса, пр-т Шевченко, 1, ОНПУ, тел. (048)734-8494.
E-mail: viktor_petrushin@ukr.net

Плоткин
Юрий Романович,
канд. техн. наук, проф. HWR Berlin, Alt Friedrichsfelde 60, 10315 Berlin;
тел. +49 (0)30 30877-2443.
E-mail: juriy.plotkin@hwr-berlin.de

Еноктаев
Ростислав Николаевич,
магистрант Одесского нац. политехн. ун-та. 65044, Одесса, пр-т Шевченко, 1, ОНПУ,
тел. (097)046-30-70.
E-mail: rostik-enok@inbox.ru

Николаев
Михаил Борисович,
магистрант Одесского нац. политехн.ун-та. 65044, Одесса, пр-т Шев-ченко, 1, ОНПУ,
тел. (096)506-41-74.
E-mail: mishel-nikolayev@mail.ru