

електромеханіка Тихона Губенка. – Львів, 1996. – С. 203–206. 3. Яцун М., Яцун А. Розподіл і симетричні складові додаткових струмів у короткозамкненій обмотці ротора асинхронного двигуна за наявності дефектів в одному стрижні // Теоретична електротехніка. – 2000. – Вип. 55. – С. 124–128. 4. Яцун М., Яцун А. Додатковий електромагнетний момент асинхронного мотора від дефекту у стрижні короткозамкненої обмотки ротора // 4-th INTERNATIONAL MODELLING SCHOOL of AMSE-UAPL. Crimea, Alushta, Ukraine, 10–15 September 1999. 5. Яцун М.А. Просторові гармоніки МРС симетричної клітки ротора асинхронного двигуна // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – № 435. – С. 186–189. 6. Яцун М.А. Просторові гармоніки МРС клітки ротора асинхронного двигуна за наявності дефекту в одному стрижні // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2002. – № 449. – С. 212–216. 7. Яцун М.А., Яцун А.М., Ігнатюк В.М., Євсюк М.М. Додаткові струми у клітці ротора асинхронного двигуна за наявності дефектів у декількох стрижнях // Методи та прилади контролю якості. – 2002. – № 9. – С. 11–14.

УДК 628.313.34

Г.В. Пуйло, С.Н. Пирковский, О.Б. Бабийчук
Одесский национальный политехнический университет

ПРОЕКТНЫЙ СИНТЕЗ ОДНОФАЗНЫХ КОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С АДАПТАЦИЕЙ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

© Пуйло Г.В., Пирковский С.Н., Бабийчук О.Б., 2003

Запропонований підхід до оптимального проектного синтезу однофазного колекторного двигуна з адаптацією узагальненого показника якості. Обґрунтовані переваги запропонованого підходу.

The approach to optimum design synthesis of a single-phase collector motor with adaptation of the generalized index of quality is offered. The advantages of the offered approach are justified.

Несмотря на достижения в теории и практике проектирования однофазных коллекторных двигателей (ОКД), существует ряд проблем, особенно в области их совершенствования и автоматизации проектирования. Конструктивные исполнения многих видов ОКД реализуются с большими запасами активных и конструкционных материалов, вследствие чего металлоемкость и удельные электромагнитные показатели этих ОКД далеки от оптимальных. Поэтому массогабаритные, энергетические и функциональные показатели многих видов выпускаемых промышленностью ОКД уступают лучшим мировым образцам.

Основными причинами, обусловившими такую ситуацию, являются следующие: недостаточная адекватность, универсальность и оперативность проектных математических моделей, используемых в промышленном проектировании многих видов ОКД, отсутствие быстродействующего программного обеспечения для проектных экспресс-исследований, обеспечивающих оперативный поиск и анализ перспективных решений.

Одним из таких инструментов экспресс-исследований является программное обеспечение (ПО), основанное на математических моделях (ММ), инвариантных к спектру конструктивных исполнений объекта проектирования и учитывающего все существенные проектные факторы и критерии.

Необходимость достижения нескольких, как правило, не согласующихся экстремальных целей, затрудняет процесс проектирования и создает необходимость разработки способов учета дополнительной информации, дополнительных критериев и разработки новых, эффективных стратегий поиска оптимума. Специфичность технических требований, разнообразие и нестандартность конструктивных исполнений, необходимость учета специфических проектных факторов обуславливает высокую размерность задач проектного синтеза и оптимизации ОКД и как правило, не позволяет применить для их решения и выполнения проектного анализа стандартные методы и программное обеспечение, разработанное для оптимального проектного синтеза серийных двигателей постоянного тока (ДПТ) и асинхронных двигателей (АД).

Поэтому крайне необходимо развитие и применение новых технологий автоматизированного проектирования ОКД, основанных на комплексном и научно-обоснованном применении идей и методов системного анализа [1–3]. Комплексная методика системного анализа должна основываться на структурном, функциональном и характеристическом анализе задачи проектирования ОКД, а также исследовании самого процесса проектирования ОКД. Для создания высокоэффективной технологии автоматизированного проектного синтеза объектов необходимо использовать такие средства системного анализа, как декомпозиция, суперпозиция, системный анализ технических требований и критериев, иерархическое (многоуровневое) построение математических моделей, многокритериальная оптимизация, эффективная организация поиска оптимальных параметров в диалоге с ПЭВМ [4, 5].

Этот подход реализован в разработанном в ОНПУ пакете прикладных программ для автоматизированного проектирования ОКД-SAPHOM. Одной из основных особенностей разработанного программного комплекса является реализация адаптивного формирования обобщенного критерия качества для более обоснованной и точной оптимизации параметров ОКД с учетом специфики его назначения и изготовления.

Задача оптимального проектирования ОКД с адаптивным формированием обобщенного критерия состоит в следующем. Каждому варианту проектируемого изделия соответствует точка n -мерного пространства конструктивных параметров. Кроме того, ей соответствует точка N -мерного пространства критериев. Вариант ОКД (точнее, уже его модельное представление в пространстве параметров и пространстве критериев) должен удовлетворять набору ограничений:

параметрических $a_j \leq x_j \leq b_j, j=1, \dots, n$;

функциональных $R_i(x) \leq 0, i=1, \dots, m_i$;

критериальных $F_k(x) \leq F_k, k=1, \dots, N$.

Для такой постановки характерным является то, что правая часть критериальных ограничений, в отличие от параметрических и функциональных, не может быть задана заранее. Она определяется на дополнительном этапе исследования допустимой критериальной области. Такая постановка позволяет включить в критериальные ограничения все те характеристики, ограничения которые нуждаются в уточнении. При этом, чем больше частных критериев вводятся в процессе проектирования, тем более полное представление формируется о ресурсных возможностях проектируемого ОКД, слабых звеньях его ММ.

Поскольку при проектировании ОКД конструктор зачастую формирует свое представление о критерии оптимальности и оптимальном варианте изделия в процессе проектирования, целесообразно корректировать критерий оптимальности по результатам серии оптимизационных расчетов. В качестве информации для формирования критерия могут использоваться величины исходных критериев $F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x)$, соответствующие допустимым значениям проектируемых параметров. Такой подход носит название адаптивного способа формирования критерия.

Информацию о свойствах пространства параметров проектируемого ОКД проектировщик получает путем заполнения его пробными (многомерными) точками и вычисления в каждой из них значений всех интересующих его показателей качества. К ним на стадии исследования пространства параметров относятся как критерий, так и ограничения. Процедура зондирования пространства параметров выполняется на основе метода случайных испытаний (проб). Укрупненная схема оптимального проектного синтеза ОКД приведена на рис. 1.

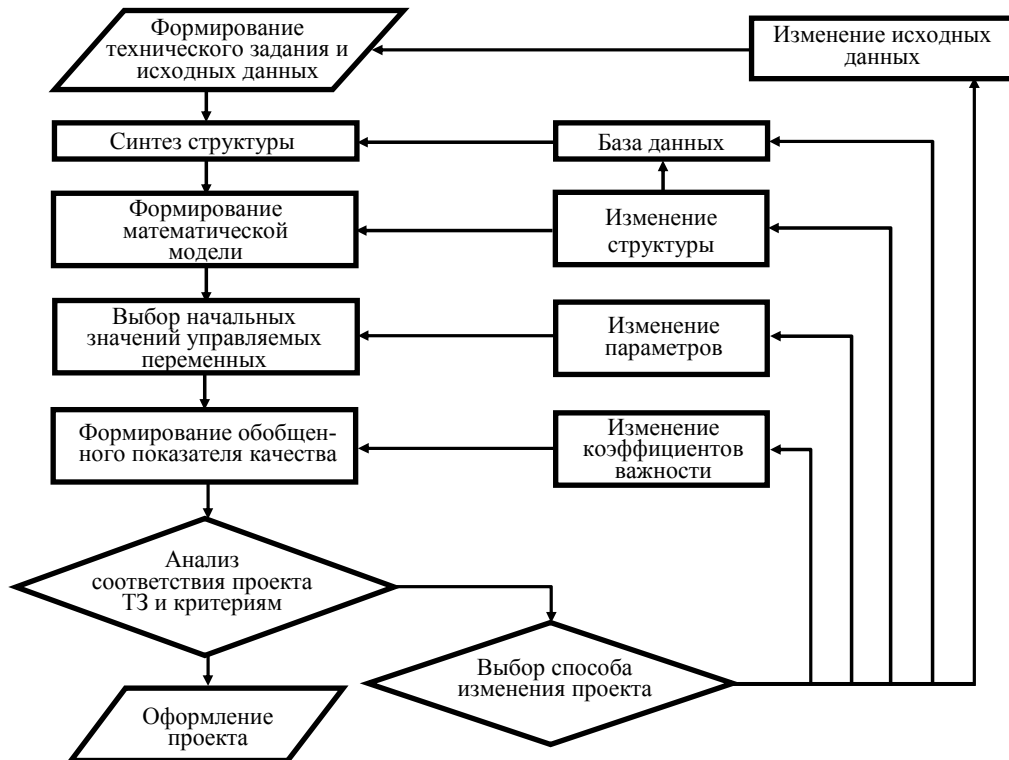


Рис. 1. Укрупненная схема проектного синтеза ОКД.

Обобщенный показатель качества ОКД Q_0 рассчитывается по выражению:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^e (K_i \cdot m_i + K_j \cdot m_j)$$

где K_i, K_j – комплексные показатели качества; m_i, m_j – коэффициенты весомости комплексного показателя качества; e – число комплексных показателей качества.

Здесь комплексный показатель качества проектируемого двигателя:

$$K_i = \sum_{i=1}^m \frac{E_{i np}}{E_{i \delta}} \cdot n_i \quad (1)$$

или

$$K_j = \sum_{j=1}^m \frac{E_{j\delta}}{E_{jnp}} \cdot n_j \quad (2)$$

где $E_{inp}, E_{jnp}, E_{i\delta}, E_{j\delta}$ – абсолютные значения единичных показателей качества проектируемого двигателя и базового образца (эталона); n_i, n_j – коэффициенты весомости единичных показателей качества; p, q – число единичных показателей качества ОКД.

Выражение (1) применяется в случае, когда увеличение абсолютного значения единичного показателя качества отвечает улучшению качества ОКД. Если увеличение абсолютного значения единичного показателя качества приводит к ухудшению качества ОКД, то необходимо применять формулу (2) [6].

Использование адаптационного критерия в оптимизационных расчетах позволяет путем варьирования коэффициентов весомости частных критериев (показателей качества) регулировать в достаточных пределах их значение и, таким образом, управлять величинами характеризующими качество ОКД.

Результаты анализа оптимальных вариантов ОКД по разным критериям можно проиллюстрировать на конкретном примере. На рис. 2, приведен этап определения наружного диаметра (DN_2) и площади паза якоря (QP_2) ОКД привода электродрели с $P_{2н}=250$ Вт, $n=15000$ об/мин. Рассматривались такие критерии: приведенные затраты ($З^*$), суммарные потери ($P_{сум}^*$), масса активной части двигателя (G_d^*). Для формирования обобщенного критерия были взяты стоимость материалов и изготовления двигателя (C_d^*), суммарные потери ($P_{сум}^*$), масса активной части двигателя (G_d^*).

Целью исследований было выявление возможности управления показателями качества для обеспечения требуемого комплекса свойств ОКД путем подбора значений коэффициентов важности $m_{C_d}, m_{P_{сум}}, m_{G_d}$ при перечисленных выше критериях.

Выходные показатели оптимальных вариантов ОКД, выбранных по приведенным затратам, суммарным потерям, массе активной части двигателя и обобщенному показателю качества при некоторых сочетаниях приведены в таблице.

1. Параметры	Критерии оптимальности						
	$З^*$	$P_{сум}^*$	G_d^*	Обобщенный показатель качества			
				$C_d=0,33$	0,6	0,2	0,2
				$P_{сум}=0,33$	0,2	0,6	0,2
				$G_d^*=0,33$	0,2	0,2	0,6
$D_{н2}, \text{ см}$	3,92	3,869	3,785	3,927	3,935	3,927	3,892
$Q_{p2}, \text{ см}^2$	0,532	0,506	0,55	0,558	0,558	0,553	0,557
$P_1, \text{ Вт}$	417,6	416,9	464,3	421,1	421,2	420,3	423,1
$\eta, \text{ о.е.}$	0,6	0,602	0,54	0,595	0,596	0,597	0,593
$\cos\varphi, \text{ о.е.}$	0,936	0,938	0,912	0,935	0,934	0,935	0,935
$P_{сум}, \text{ Вт}$	167,1	165,9	213,7	170,3	170,3	169,5	172,4
$G_{мед}, \text{ кг}$	0,156	0,152	0,185	0,158	0,159	0,157	0,157
$G_{дв}, \text{ кг}$	0,667	0,696	0,615	0,637	0,637	0,641	0,634
$P_{2уд}, \text{ Вт/кг}$	376,4	360,8	407,6	394,6	394	391,1	395,5

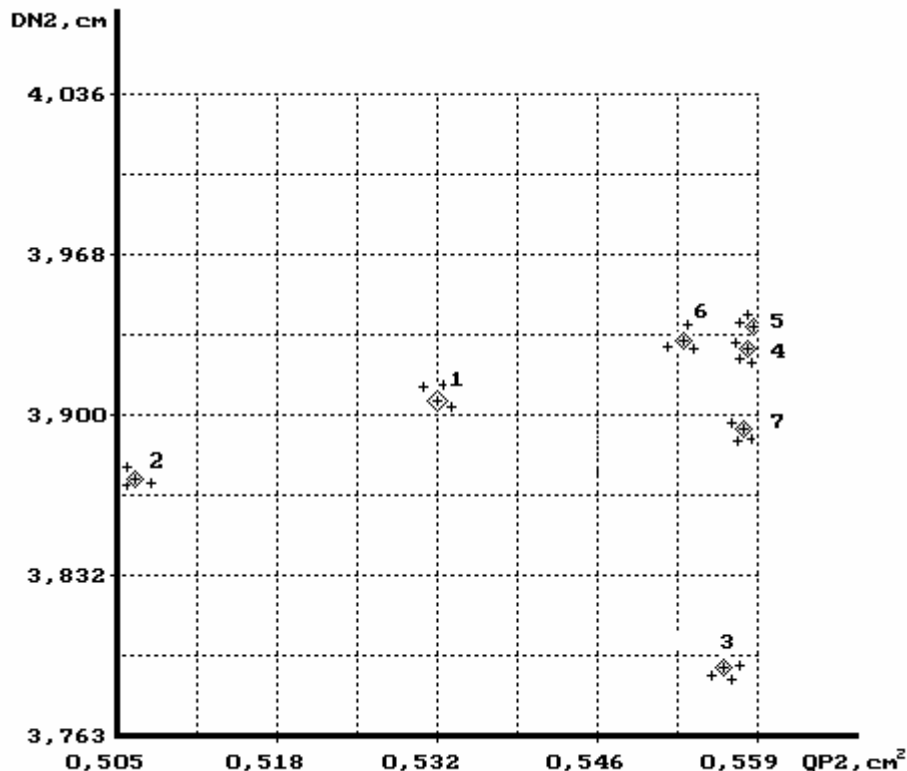


Рис. 2. Значения DN2 QP2 разных критериев оптимизации:

- 1 – 3^* ; 2 – $P_{\text{сум}}^*$; 3 – $G_{\text{д}}^*$, обобщенный при различных m_{Cd} , $m_{\text{Pсум}}$, $m_{\text{Gд}}$:
 4 – ($m_{\text{Cd}}=0,33$, $m_{\text{Pсум}}=0,33$, $m_{\text{Gд}}=0,33$); 5 – ($m_{\text{Cd}}=0,6$, $m_{\text{Pсум}}=0,2$, $m_{\text{Gд}}=0,2$);
 6 – ($m_{\text{Cd}}=0,2$, $m_{\text{Pсум}}=0,6$, $m_{\text{Gд}}=0,2$); 7 – ($m_{\text{Cd}}=0,2$, $m_{\text{Pсум}}=0,2$, $m_{\text{Gд}}=0,6$)

Выполненные исследования показали, что при изменении значений коэффициентов важности оптимальное значение наружного диаметра якоря менялось на 3,8 %, площади паза на 9,5 %, потребляемой мощности на 11,5 %, к.п.д. на 10 %, суммарных потерь на 27,8 %, массы меди на 18,5 %, массы активных частей на 12%, удельной мощности на 12,6 %.

Результаты исследований подтвердили возможность управления показателями качества ОКД, путем подбора коэффициентов важности при составляющих обобщенного критерия.

Проектный синтез ОКД на основе обобщенного показателя качества наиболее универсален и позволяет, в значительной мере, компенсировать недостатки оптимизации как по частным критериям, так и по критерию обобщенные затраты, когда в зависимости от продолжительности работы ОКД занижается вклад некоторых величин. Так, например, при проектировании ОКД с малым сроком службы критерий затраты 3^* «вырождается» в критерий стоимость $C_{\text{д}}^*$, что приводит в результате к вариантам ОКД с заниженным к.п.д. В адаптивном обобщенном показателе качества это компенсируется увеличением коэффициента важности при критерии суммарные потери. Чтобы не допустить чрезмерного роста массы и габаритов ОКД при оптимизации ОКД для больших сроков службы следует обоснованно выбирать значение коэффициентов важности при $C_{\text{д}}^*$ и $G_{\text{д}}^*$.

В целом адаптивный обобщенный критерий дает возможность сблизить оптимизацию по суммарным затратам с оценкой уровня качества. Окончательный выбор варианта выполняется разработчиком с учетом всего комплекса технических, конструкторских и технологических требований и экономической оценки улучшения каждого из показателей качества. Применение проектного синтеза ОКД с адаптацией критерия в системе расчетной оптимизации SAPROM, снижает общие сроки разработки ОКД и их внедрение в производство, позволяет разрабатывать ОКД с оптимальным комплексом свойств.

1. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М., 1980. – 287 с.
2. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М., 1980. – 232 с.
3. Пуйло Г.В., Пирковский С.Н. Проектный синтез однофазных коллекторных двигателей переменного тока // Вісн. НТУ “ХПІ”: Зб. наук. праць. Тематичний вип. – 2002. – № 2. – С. 134–137.
4. Цурков В.И., Литвинчев И.С. Декомпозиция в динамических задачах с перекрестными связями: В 2-х ч. – М., 1994. – 176 с.
5. Пуйло Г.В., Пирковский С.Н. Декомпозиционный подход к проектному синтезу однофазных коллекторных двигателей переменного тока. Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Ч. 7. – К., 2002. – С. 13–17.
6. Пирковский С.Н. Оценка уровня качества однофазных коллекторных двигателей на стадии проектирования // Тр. Одесского политехн. ун-та. – 2003. – 1(19). – С. 93–96.

УДК 621.313.3.045

Р.Б. Гаврилюк

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

ИНДЕКС СХЕМИ ШАРУ ОБМОТКИ

© Гаврилюк Р.Б., 2003

Пропонується введення показника ваги (індексу) для характеристики як симетричних, так і несиметричних схем шарів обмоток електричних машин змінного струму, що дозволяє на підставі порівняння двох числових індексів встановити еквівалентність або нееквівалентність двох схем, які ми порівнюємо.

The introduction of a weight exponent (index) if proposed to define both symmetrical and asymmetrical layer schemes of the alternative current electrical machines windings that on the basis of comparing two numerical indexes allows to determine either equivalence or non-equivalence of the too schemes, which we compare.

Відомо, що кожного року винаходять, аналізують, порівнюють сотні схем обмоток електричних машин змінного струму. Кожна обмотка складається з одного або декількох шарів, які, як правило, розташовані в рівномірно розподілених вдовж розгортки якоря пазах z . Оскільки в кожному пазу одного шару обмотки ми можемо розмістити елемент (активну сторону котушки), що належить будь-якій фазі m , то кількість всіх несиметричних схем шарів обмоток дорівнює

$$k_{nc} = m^z. \quad (1)$$