

УДК 621.313

Б. Г. Любарский, канд. техн. наук
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический университет»

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЯГОВОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ РЕАКТИВНОГО ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Современный подвижной состав железных дорог создаётся в основном на основе тяговых приводов на базе двигателей переменного тока [1, 2]. Наибольшее развитие получил асинхронный тяговый привод, однако в последнее время все большее распространение находит тяговый привод на основе реактивного индукторного двигателя (РИД), отличающийся еще большей надежностью, простотой конструкции и меньшими затратами при производстве [1, 2]. В работе [3] рассматривается управление тяговым приводом на основе РИД по критерию минимума пульсаций электромагнитного момента и КПД двигателя, однако такие режимы не являются оптимальным по критерию суммарного КПД так, как структура потерь в тяговом приводе достаточно сложна и включает в себя потери, как в двигателе, так и в преобразователе.

Цель работы: разработать методику оптимизации режимов тягового привода на основе реактивного индукторного двигателя по критерию максимума его КПД.

Параметрами для оценки эффективности тягового привода рационально ток секции I_c , коэффициент модуляции (Км) величина которого определяет значение тока тягового привода, и β – интервала подачи напряжения на обмотку. В качестве критерия, как сказано выше выбираем КПД привода η .

Потери в тяговом в преобразователе и ЭМП зависят как от вектора режима работы тягового привода $\begin{bmatrix} M_{зад} \\ n_{зад} \\ t_{зад} \end{bmatrix}$ (частоты вращения, момента на валу и температуры),

так и от параметров управления – режима работы привода, коэффициента модуляции и скольжения. Поэтому задача определение эффективности тягового привода сводится к нахождению функции:

$$MAX \eta = f \left(\begin{bmatrix} M_{зад} \\ n_{зад} \\ t_{зад} \end{bmatrix} \right)_{var \begin{bmatrix} I_c \\ K_M \\ \beta \end{bmatrix}},$$

где $\begin{bmatrix} I_c \\ K_M \\ \beta \end{bmatrix}$ – вектор параметров управления, составляющие которого: режим работы привода, коэффициент модуляции и скольжение соответственно. Для решения такой задачи предлагается применять методы условной минимизации функции.

ШАГ 1. Задаемся величинами n , $M_{эл}$ и β .

ШАГ 2. Определяем величину фазного тока:

$$I_c = \frac{4M_{эл} \delta}{Z_p \mu_0 D l \alpha_s \frac{k_L}{k_{нас}} w_z^2 (1 - \cos \beta)}$$

где Z_p - число зубцов ротора, I_c - ток секции статора, D - диаметр расточки статора, l - длина статора, δ - минимальная длина воздушного зазора, α_s - полюсное перекрытие, k_L - коэффициент амплитуды первой гармоники тока, w_z - число витков секции.

ШАГ3. Определяем электромагнитную мощность и момент по [4]:

$$M_{эл} = Z_p \frac{I_c^2}{4} \mu_0 \frac{D l}{\delta} \alpha_s \frac{k_L}{k_{нас}} w_z^2 (1 - \cos \beta),$$

$$P_{эл} = M_{эл} n$$

ШАГ 4. Определяем потери в двигателе и преобразователе по методикам приведенным в [4, 5]. Для частоты питания

$$f_{sw} = \frac{Z_p n}{60},$$

где Z_p - число зубцов ротора

ШАГ 5. Определяем подводимую мощность на звене постоянного тока:

$$P_1 = P_2 + \sum p$$

ШАГ 6. КПД привода:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

ШАГ 7. Определяем ток в звене постоянного тока:

$$I_d = \frac{P_1}{U_d},$$

и коэффициент модуляции:

$$K_m = \frac{\beta m I_c}{\pi I_d}$$

При решении задачи оптимизации на параметры накладываются ограничения - в виде неравенств:

$$I_c < I_{\max}$$

$$1 \geq K_m \geq 0$$

где I_{\max} - максимальный допустимый фазный ток секции РИД;

- и в виде равенства:

$$M_2 = M_{зад}$$

Проверка адекватности математической модели расчете параметров РИД производится путем сравнения результатов тяговой характеристики реактивного индукторного тягового двигателя НТИ 350 проводимых в Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасск, Россия) и

приведенных [3], с данными полученных по результатам расчетов задачи анализа ЭМП РИД приведенных в предыдущем пункте. Результаты приведены в табл.

Таблица

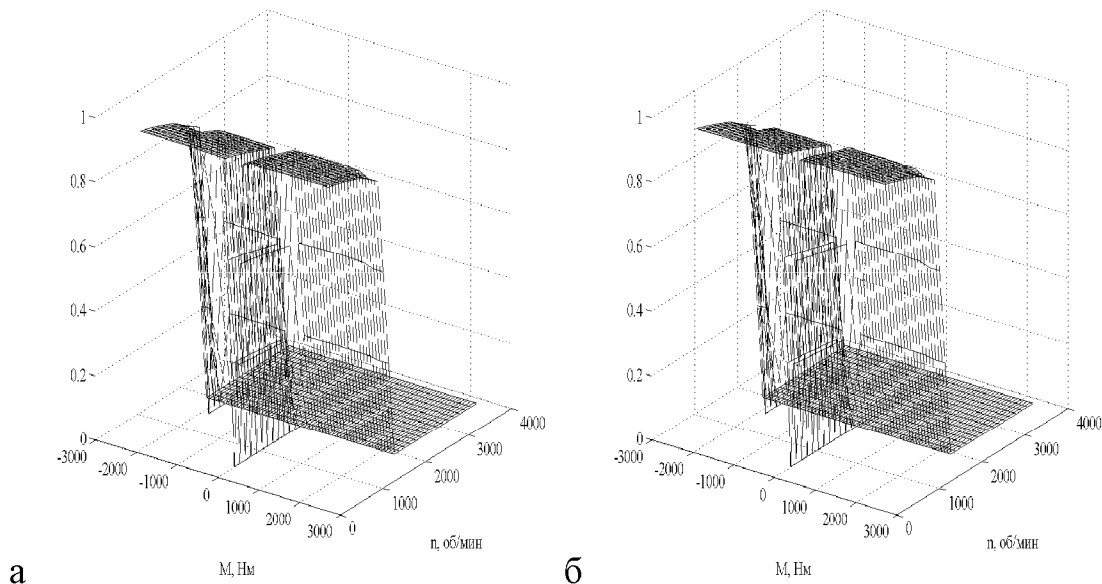
Характеристики РИД

Мощность на валу, кВт	160	300	390	402	314	264
Момент на валу, Нм	3820	3580	3100	2400	1500	1050
Частота вращения, об/мин	400	800	1200	1600	2000	2400
КПД полученное по результатам [3], о.е.	0,86	0,92	0,94	0,93	0,92	0,9
КПД по результатам расчетов, о.е.	0,8583	0,9184	0,9383	0,9312	0,9210	0,9027
Суммарные потери по [3], кВт	26,05	26,08	24,86	30,27	27,32	29,32
Суммарные потери по расчету, кВт	26,42	26,65	25,61	29,71	26,95	28,44
Отклонение, %	1,41	2,18	3,02	1,84	1,36	2,99

Как видно из приведенных данных максимальное отклонение при расчете потерь составляет 3,02%, что вполне допустимо для проводимых расчетов.

Для решения задачи оптимизации, как и для АД, использован пакет optlab для MATLAB разработанный в НТУ «ХПИ» [6, 7]. Наилучшие результаты по времени решения поставленной задачи показал так же метод циклического покоординатного спуска.

В качестве объекта для решения задачи оптимального управления выбран РИД НТИ 350 рассмотренный в [3]. Результаты оптимизации приведены на рисунке.



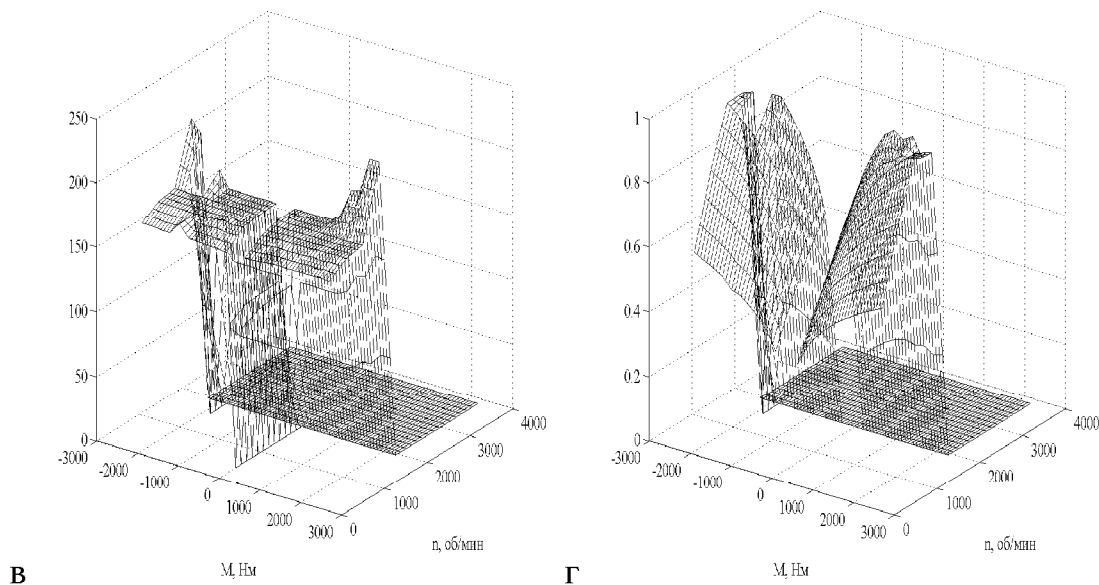


Рис. – Оптимальное значение КПД привода (а), двигателя (б), интервала подачи напряжения на обмотку (в) и коэффициента модуляции (г) при температуре 96°С

На рисунке значение параметра равное нулю соответствует зоне в которой не было найдено решение, что соответствует ограничениям принятым при решении задачи оптимизации. Как видно из рисунка КПД привода на основе РИД имеют значительную зону, в которой не было найдено решение, невозможностью реализации требуемого момента в связи с уменьшением тока фазы. При малых скоростях движения регулирование преимущественно осуществляется за счет изменения коэффициента модуляции напряжения в фазе. При больших же значениях мощности путем увеличения интервала подачи напряжения на обмотку. При увеличении температуры КПД привода и двигателя незначительно снижаются, но характер зависимостей остается неизменным.

Выводы:

1. Предложено определение оптимальных режимов работы тягового привода производить на основе решения задачи условной максимизации критерием которой является КПД привода.
2. Разработана задача анализа и предложен алгоритм ее решения по нахождения КПД тягового привода на основе реактивного индукторного двигателя учитывающий потери в тяговом двигателе и полупроводниковом преобразователе.
3. Параметрами для оценки эффективности тягового привода рационально ток секции, коэффициент модуляции, величина которого определяет значение тока тягового привода, и интервала подачи напряжения на обмотку.
4. Доказана достоверность решения задачи анализа на примере расчета тяговой характеристики тягового двигателя НТИ 350.
5. Определены оптимальные режимы работы тягового привода на основе РИД НТИ 350.

Литература

1. В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А. В. Демидов, Т. В. Глебова. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей // Залізничний транспорт України.– 2008. – №2/1. – С. 26–31.

2. В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А. В. Демидов, Т. В. Глебова
 Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава // Локомотив-информ. – 2008. – №1. – С. 16–19.

3. Киреев А.В. Разработка алгоритмов эффективного управления тяговым вентильно-индукторным электроприводом электропоезда [Текст] / А.В.Киреев // дисс. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск. 2004. – 184 с.

4. Ткачук В. І. Електромеханотроніка: Підручник для студ. електромеханічного профілю вищ. навч. закладів України / Національний ун-т Львівська політехніка. — Л. : Видавництво Національного ун-ту Львівська політехніка, 2006. — 440с.

5. Рябов Е.С. Безредукторный тяговый привод на основе реактивного индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком для скоростного электроподвижного состава [Текст] / Е.С. Рябов // дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков. 2011 – 162с.

6. Северин В. П., Никулина Е. Н. Методы одномерного поиска. - Харьков. : НТУ ХПИ, 2013. – 124 с.

7. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

ОПТИМАЛЬНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ НА ОСНОВІ РЕАКТИВНОГО ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА

Б. Г. Любарський

Розглянуто методіку розрахунку оптимальних режимів роботи тягового приводу на основі реактивного індукторного двигуна

OPTIMAL MODE TRACTION DRIVE BASED REACTIVE INDUCTOR ENGINE

B. G. Lubarsky

The method of calculating the optimal modes of traction drive based jet engine inductor.