

О.П.Ильин, В.И.Панасюк, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. – Минск: Наука и техника, 1978. З. Ильин О.П., Петренко Ю.Н., Якубович Л.Ю. Об исследовании частотного электропривода с инвертором напряжения. – Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1978, №12.

УДК 621.313.629

Л.С.Писарик

## О ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ НА МИНИМУМ СЕБЕСТОИМОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ

Наиболее распространенными критериями, используемыми при проектировании электрооборудования, являются минимумы приведенной стоимости, массы или объема изделия, максимум коэффициента полезного действия или комбинированные критерии, которые так или иначе учитывают частичные перечисленные, а также и другие технико-экономические показатели проектируемого изделия или системы [1]. Сложность здесь заключается в установлении степени значимости каждого частичного критерия.

Если принять за критерий оптимальности системы тягового электропривода автомобиля экстремум какого-либо показателя, характеризующего не систему электропривода как таковую, а автомобиль в целом, то эта сложность может быть преодолена. Тогда степень значимости таких технико-экономических показателей проектируемого электропривода, как его масса, габариты, коэффициент полезного действия, стоимость определится их влиянием на данный показатель автомобиля.

Обобщенным показателем, используемым для оценки транспортного средства, предназначенного для перевозки грузов, является себестоимость тонно-километра выполняемой работы. Поэтому будет правильным степень оптимальности системы тягового электропривода грузового автомобиля оценить по его влиянию на величину себестоимости транспортной работы автомобиля, приняв за критерий оптимальности минимум себестоимости.

Система тягового электропривода автомобиля в общем случае включает в себя тяговый генератор с редуктором и устройством возбуждения, преобразователь электрической энергии генератора, тяговые двигатели мотор-колес с их редук-

торами, аппаратуру управления и коммутации. Сюда же относится и электропривод вентиляторов систем вентиляции тяговых двигателей и генератора.

Элементами системы, определяющими в основном ее массо-габаритные, энергетические и стоимостные показатели, являются генератор, преобразователь и тяговые двигатели. Рассмотрим, как показатели главных элементов системы влияют на себестоимость транспортной работы автомобиля.

Ограниченность мощности первичного теплового двигателя предъявляет к электроприводу автомобиля требование высокого значения коэффициента полезного действия. Очевидно, что выполнение этого требования наталкивается на определенные массогабаритные ограничения. Эти ограничения четко выражены по отношению к тяговым двигателям, которые конструктивно объединяются с колесом автомобиля в мотор-колесо, в то время как по отношению к генератору, преобразователю и другим элементам системы они не столь жестки.

Это обстоятельство позволяет рассматривать проектирование тяговых двигателей как относительно самостоятельную подзадачу. Связь этой подзадачи с общей задачей проектирования системы привода автомобиля существенно проявляется в основном на начальном этапе проектирования системы. Здесь решается вопрос обеспечения требуемого диапазона регулирования скорости движения автомобиля при полном использовании отведенной на тягу мощности теплового двигателя. На этом этапе выбор величин коэффициента ослабления поля тяговых двигателей и коэффициента кратности максимального напряжения генератора, сильно влияющих на массу машин, может производиться по минимуму суммарной массы генератора, преобразователя и двигателей. После выбора указанных коэффициентов основным ограничением при проектировании тяговых двигателей, которое определяет самостоятельность этой подзадачи, становятся габаритные требования мотор-колеса.

Как показано в [2], абсолютная величина минимума суммарной массы электрических машин привода сильно зависит от величин их номинальных коэффициентов полезного действия. Для установления оптимальных величин номинальных КПД генератора и двигателей используем критерий минимальной себестоимости транспортной работы автомобиля, выполнив это следующим образом.

1. Взяв за базу вариант системы электропривода, спроектированный на минимум суммарной массы при предварительно выбранных значениях номинальных КПД генератора и двига-

телей, рассчитываем ряд вариантов генератора, отличающихся от базового значениями номинального КПД и соответственно массами и стоимостями; устанавливаем зависимости массы и стоимости проектируемого генератора от его КПД.

2. Записываем в общем виде выражение для расчета себестоимости тонно-километра работы автомобиля и, используя зависимости из п.1, преобразовываем его, получая себестоимость как функцию величины номинального КПД генератора.

3. Находим значение КПД генератора, обеспечивающее минимум себестоимости тонно-километра.

4. Если габаритные ограничения на тяговый двигатель позволяют, рассчитываем ряд вариантов двигателя, отличающихся значениями номинального КПД и соответственно массами и стоимостями.

5. Расчеты по пунктам 2 - 3 повторяем, вводя всякий раз в расчет новый вариант тяговых двигателей из п.4.

6. По полученным результатам определяем оптимальные значения КПД генератора и двигателей и получаем тем самым оптимальный вариант электрических машин системы электропривода. Преобразователь системы остается тем же, что в базовом варианте, так как он проектируется по максимальным значениям напряжения и тока генератора, которые во всех расчетах остаются неизменными.

Основой для выполнения п.2 является методика расчета себестоимости тонно-километра, принятая на предприятиях Мин-автопрома. В соответствии с ней величина себестоимости тонно-километра работы автомобиля определяется по формуле (без учета затрат на погрузку-разгрузку, дорожных и социальных)

$$C = \frac{Z_{гсм} + Z_{то} + Z_{а} + Z_{ш} + Z_{внр}}{G \xi \beta}, \quad (1)$$

в которой слагаемые числителя представляют собой затраты отнесенные к одному километру, на горючее и смазочные материалы  $Z_{гсм}$ , на техническое обслуживание  $Z_{то}$ , на амортизацию  $Z_{а}$ , на ремонт и восстановление шин  $Z_{ш}$ , на зарплату водителя и накладные расходы  $Z_{внр}$ . Сомножители знаменателя:  $G$  - грузоподъемность;  $\xi$  - коэффициент использования грузоподъемности;  $\beta$  - коэффициент использования пробега.

При известной мощности теплового двигателя, отведенной на тягу, требование получения определенных динамических по-

казателей автомобиля ограничивает его полную массу с грузом некоторым предельным значением  $G_{\text{пред}}$ . Поэтому грузоподъемность можно выразить так:

$$G = G_{\text{пред}} - G_0 - G_{\text{эл}}, \quad (2)$$

где  $G_0$  - масса порожнего автомобиля без системы тягового электропривода;  $G_{\text{эл}}$  - масса электропривода. В свою очередь масса электропривода складывается из массы генератора  $m_{\Gamma}$ , массы двигателей  $m_{\text{д}}$  и массы остальных элементов привода  $m_0$ . Линеаризуя зависимость массы генератора от величины его номинального КПД<sup>x</sup>, получим

$$m_{\Gamma} = m_{\Gamma}^* + \mu (\eta_{\Gamma}^* - \eta_{\Gamma}). \quad (3)$$

Здесь величины со звездочками соответствуют базовому варианту.

В излагаемой методике величина  $m_0$  неизменна, но при уточнении расчетов ее также можно связать с КПД генератора.

В формуле (1) слагаемое  $Z_{\text{гсм}}$  и  $Z_{\text{впр}}$ , а также коэффициенты  $\xi$  и  $\beta$  величины постоянные, что касается остальных слагаемых числителя, то можно показать, что

$$Z_{\text{гсм}} = \frac{A}{\eta_{\Gamma}}; \quad (4)$$

$$Z_{\text{а}} = \frac{B}{\eta_{\Gamma}} + B \eta_{\Gamma} + \Gamma; \quad (5)$$

$$Z_{\text{впр}} = \frac{D}{\eta_{\Gamma}}. \quad (6)$$

Здесь А, В, В, Г, Д - постоянные (при фиксированном варианте тяговых двигателей). Выражения (4) - (6) получены при следующих условиях: автомобиль транспортирует груз на заданное расстояние  $S$  при работе привода в номинальном режиме; стоимость генератора линейно связана с его КПД. После подстановок (2) - (6) в (1) и преобразований получаем следующую зависимость себестоимости тонно-километра  $C$  от величины номинального КПД генератора:

<sup>x</sup>При неудовлетворительной точности линеаризации применение более точной аппроксимации также дает возможность получить решение.

$$C = \frac{a \eta_{\Gamma}^2 + b \eta_{\Gamma} + c}{d \eta_{\Gamma}^2 + e \eta_{\Gamma}} \quad (7)$$

Это выражение позволяет найти значение КПД генератора, которое соответствует минимальной себестоимости тонно-километра.

### Л и т е р а т у р а

1. Домбровский В.В., Хуторецкий Г.М. Основы проектирования электрических машин переменного тока. - Л.: Энергия, 1974. 2. Электрические машины в тяговом автомобильном электроприводе/ Под ред. А.П.Пролыгина. - М.: Энергия, 1979.

УДК 621.313.333.07

А.И.Лapidус, Н.А.Каплан

### ТИРИСТОРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Частотный метод регулирования скорости асинхронных электродвигателей является наиболее универсальным методом, однако его реализация требует сложного и дорогостоящего оборудования. Если по условиям работы механизма регулирование скорости электропривода должно быть непродолжительным, предпочтение можно отдать более простому, импульсному способу регулирования. Массовый выпуск тиристоров, способных коммутировать значительные токи с высокой частотой, открывает большие возможности для промышленного использования этого метода регулирования скорости [1, 2].

Метод импульсного регулирования позволяет осуществлять глубокое снижение скорости порядка 1:20 и даже 1:60. При этом электродвигатель работает в режиме ускорений и замедлений, что вызывает колебание угловой скорости  $\omega$  (относительно среднего значения  $\omega_{\text{ср}}$ ) в пределах от  $\omega_1$  до  $\omega_2$  (рис. 1). Величина средней скорости  $\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  зависит от среднего момента  $M_{\text{ср}}$ , развиваемого электро-