

Б.Г. ЛЮБАРСКИЙ, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”

КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА ТИПА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОВРЕМЕННОГО СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У статті розглядається сучасна концепція вибору типу тягового електроприводу швидкісного рухомого складу, яку можливо застосувати для залізниць України. Пропонується критерій ефективності тягового приводу – інтегральний к.к.д., що враховує як к.к.д. приводу так і його режими експлуатації.

In article modern conception is considered of choice of type of hauling electric drive of speed rolling stock, which it is possibly to apply for the railways of Ukraine. A criterion is offered of efficiency of hauling occasion – integral efficiency, that takes into account as efficiency. occasion so his modes of exploitation.

Постоянный рост пассажиропотока на железных дорогах Украины и возросшие требования к скорости перевозки пассажиров привели в последние годы к созданию скоростных поездов осуществляющих перевозку пассажиров между крупными городами. Однако скорость движения таких поездов ограничена ввиду применения на них в качестве источника тяги устаревшего подвижного состава. Так, например, на экспрессе Харьков–Киев в качестве источника тяги используется электровоз переменного тока ЧС8, на электрифицированном переменным током участке железной дороги Киев–Полтава и грузовым двухсистемным электровозом ВЛ 82м на участке Полтава–Харьков, где электрификация проведена как на постоянном так и переменном токе. Скорость движения такого поезда не превышает 100...160 км/ч, что значительно ниже европейских и японских аналогов, для которых перевозки со скоростью 200...300 км/ч стали повседневной реальностью. Основная причина столь низкой скорости, а как следствие меньшей конкурентоспособности железнодорожного транспорта перед, например, автомобильным транспортом кроется в первую очередь в несовершенстве подвижного состава. В большинстве стран Европы и Японии скоростные пассажирские перевозки осуществляются с использованием как локомотивной, так и мотор-вагонной тягой. Высокоскоростные электропоезда на железных дорогах Украины отсутствуют. [2,3]. Сердцем электроподвижного состава (ЭПС) является тяговый электропривод – совокупность устройств, предназначенных для преобразования электрической энергии, получаемой из контактной сети, в полезную работу по перемещению электроподвижного состава. Поэтому важнейшей задачей, которую надо решить для создания сети скоростных магистралей, является создание подвижного состава и его важнейшего элемента – тягового электропривода. Именно от его энергетической эффективности и затрат на

эксплуатацию будет зависеть конкурентоспособность пассажирских перевозок на скоростных линиях.

ЦЕЛЬ ДАННОЙ РАБОТЫ: разработать концепцию выбора типа тягового привода для скоростного подвижного состава железных дорог Украины.

1 этап. Определение основных параметров для проектирования СПС.

На этом этапе необходимо выработать основные требования предъявляемые (СПС): его массу, расчетную скорость движения, конструкционную скорость, с которой может двигаться СПС и география его применения.

В практике проектирования СПС для железных дорог евросоюза на данном этапе проводится предварительное решение тяговой задачи движения СПС по участку пути. По результатам определяются требуемая форма тяговой характеристики которая обеспечивает заданное время движения СПС на всем участке пути. Так как отечественный СПС предполагается эксплуатировать на уже построенных участках железных дорог на которых осуществляется движение [2], то такой подход становится затруднительным. Поэтому на первом этапе предлагается выработать концепцию тяги - моторвагонная или локомотивная, определится с осевой характеристикой или составностью – число обмоторенных осей.

Определить основные скоростные характеристики:

- Расчетная скорость движения
- Конструкционная скорость движения

Определить ускорения:

- при троганье
- при расчетной скорости движения
- остаточное ускорение при конструкционной скорости

На этом этапе рационально определить предварительную тяговую характеристику ПС

Так же необходимо выбрать род тока СПС (переменного, постоянного, двухсистемный ≈ 3 кВ/ ~ 25 кВ, 50Гц, многосистемный, ≈ 3 кВ, ~ 25 кВ, 50Гц). Этот выбор определит в дальнейшем ограничения по выбору структуры тягового привода СПС. Выбор этого параметра целесообразно производить с учетом географии использования СПС.

2 этап. Проектирование альтернативных конструкций тяговых приводов

На этом этапе предлагается провести оптимальное проектирование альтернативных типов тяговых приводов СПС по определенным в на первом этапе характеристикам. В зависимости от рода тока СПС возможен определенный набор типов тяговых приводов реализующих требуемые характеристики СПС при применении различных типов электромеханических преобразователей энергии (тяговых двигателей). Так, например, для скоростного электровоза переменного тока с асинхронными тяговыми двигателями возможна реализации тягового привода по структурной схеме:

трансформатор- 4qs преобразователь – звено постоянного тока – автономный инвертор напряжения – асинхронный тяговый двигатель – тяговый привод 3-го класса. Однако при заданных условиях возможна реализация и дорогой структурной схемы: 4qs преобразователь – звено постоянного тока – автономный инвертор повышенной частоты – импульсный трансформатор - 4qs преобразователь - постоянного тока – автономный инвертор - асинхронный тяговый двигатель – безрезукторный тяговый привод.

Структура тягового двигателя дополняется списком управляющих воздействий для каждого из элементов структуры привода (для автономного инвертора напряжения частота и фаза выходного напряжения, несущая частота).

Применение других типов тяговых двигателей определяет другую структуру тягового привода. С точки зрения математики такой подход можно представить множеством тяговых приводов:

$$D = M \cap C \cap MD, \quad (1)$$

где M – множество типов тяговых двигателей, C - множество типов преобразователей, MD – множество типов механических частей тяговых приводов.

Для каждого из типов тягового привода проводится оптимальное проектирование элементов его конструкции. В качестве критерии для оптимизации рационально выбрать следующие: максимум КПД тягового привода, минимум затрат на создание тягового привода; параметрами оптимизации: геометрические и электромагнитные параметры тягового двигателя (для каждого из типов свои), параметры силовых элементов тягового преобразователя, геометрические параметры механической части привода (число зубьев колеса, шестерни, модуль тяговой передачи и др). Для задачи многокритериальной оптимизации вводятся следующие ограничения.

Для тягового двигателя: габаритные размеры двигателя, электромагнитные нагрузки в двигателе, электромагнитные ограничения, которые обусловлены требованием реализации максимальных скоростей движения и пускового ускорения.

Для элементов преобразователя: габаритные размеры преобразователя.

Для механических частей тяговых приводов: габаритные размеры.

В результате оптимального проектирования необходимо получить:

- структура тягового привода,
- сектор управляющих воздействий привода, состоящий из списков управляющих воздействий каждого из элементов структуры тягового привода,
- оптимальные параметры элементов этой структуры,

На этом этапе оптимальное проектирование элементов структуры может быть поведено по существующим методикам.

3 этап. Определение оптимальных управляющих воздействий во всем пространстве тяговых характеристик привода и мгновенного КПД.

Двумерное пространство скорость движения СПС – сила тяги (FV) определяет все статически режимы работы тягового привода. В этом пространстве выделяется область (D), в которой реализуются все тяговые и тормозные характеристики тягового привода. На этом этапе для каждой точки этой области необходимо найти оптимальное значение вектора управляющих воздействий и определить КПД тягового привода при этих оптимальных соотношениях.

В результате 3-го этапа получена векторная функция оптимальных значений параметров управления

$$[U] = f(F, V) \quad (2).$$

КПД тягового привода во всех статических режимах его работы, которое можно назвать мгновенное КПД привода.

$$\eta_i = f(F, V). \quad (3)$$

Для каждого альтернативного типа тягового привода необходимо найти зависимость мгновенного КПД.

4 этап. Определение режимов работы тягового привода

На этом этапе необходимо определить вероятность работы привода для любой точки пространства FV . Вероятность работы привода в режиме при определенных соотношениях силы тяги и скорости

$$Z(F, V) = \frac{\Sigma t(F, V)}{T}, \quad (4)$$

где $\Sigma t(F, V)$ - суммарное время работы привода в (F, V) -том режиме, T - время тяговой работы электропривода.

Эта зависимость может быть определена тремя альтернативными способами:

1. Статистической обработкой результатов работы тягового привода аналогичных конструкций ПС
2. По результатам решения тяговой задачи движения поезда на участке пути.
3. Комбинированный способ. Частично по экспериментальным данным (1 способ), а частично по результатам решения тяговых задач (1 способ).

Первый способ наиболее применим для СПС, который планируется применять на существующих участках железных дорог. Для него возможно получение таких экспериментальных данных.

Второй способ предпочтительнее для СПС, который планируется применять на вновь строящихся или модернизированных участках железной дороги. Для них экспериментальные данные отсутствуют или их получение затруднительно.

Третий способ наиболее применим для ПС, который будет эксплуатироваться как на новых (модернизированных) участках дороги так и на участках, введенных в эксплуатацию, что достаточно часто встречается в современной практике.

В результате необходимо получить зависимость

$$Z = f(F, V). \quad (5)$$

5 этап. Определение интегрального КПД тягового привода и принятие решения о выборе оптимального типа привода.

Эксплуатационные затраты для СПС можно определить соотношением:

$$Z_e = Z_m + Z_{ec} + Z_{TOuP} \quad (6)$$

Где Z_m - затраты на реализацию тяги, Z_{ec} - затраты на работу вспомогательных устройств и Z_{TOuP} - затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Основными затратами для СПС являются затраты на реализацию силы тяги которые зависят от типа тягового привода.

Затраты на тягу в определенном режиме работы равны

$$Z_{mj} = \frac{F V}{\eta_j} t_j \quad C_e = \frac{F V}{\eta_j} Z_j \quad C_e T \quad (7)$$

Где η_j - мгновенный КПД, C_e - цена электроэнергии, F — сила тяги СПС, V - скорость СПС, t_j - время работы привода в j режиме, Z_j - вероятность работы привода в j режиме, T - время эксплуатации СПС.

Затраты на тягу за все время

$$Z_m = C_e T \sum_{F=0}^{F_{\max}} \sum_{V=-V_{kon}}^{V_{kon}} \left(\frac{Z F V}{\eta} \right) = \frac{C_e T F_{\max} V_{kon}}{\int \eta} \quad (8)$$

где F_{\max} - максимальная сила тяги, V_{kon} - конструкционная скорость,

$\int \eta$ интегральный КПД i тягового привода по соотношению:

$$\int \eta_i = \frac{F_{\max} V_{kon}}{\sum_{F=0}^{F_{\max}} \sum_{V=-V_{kon}}^{V_{kon}} \left(\frac{Z F V}{\eta} \right)} \quad (9)$$

Такой интегральный КПД может характеризовать тяговый привод как с точки зрения реализации его наилучших энергетических характеристик в определенных режимах, так и с точки зрения использования его в этих режимах так как $C_e, T, F_{\max}, V_{kon}$ величины не зависящие от типа тягового привода и режима эксплуатации СПС. Интегральный КПД величина относительная. Физический смысл этой величины таков: интегральный КПД равен единице только в том случае, когда тяговый электропривод не имеет

потерь и СПС всегда работает в режиме максимальной силы тяги при конструкционной скорости движения СПС, т.е. интегральный КПД учитывает не только КПД электропривода, но и режим эксплуатации СПС.

Интегральный КПД может служить составной частью критерия текущих затрат на эксплуатацию электропривода.

Так как структура затрат на работу вспомогательных устройств сложна и они пропорциональны затратам на тягу, а сами эти затраты не превышают 10%, от общих затрат на эксплуатацию СПС то при выборе типа тягового электропривода их можно учесть в виде 10% от Z_m .

Затраты на техническое обслуживание Z_{TOUP} зависят от конкретного типа тягового электропривода. Их можно приблизительно считать постоянными для каждого конкретного типа электропривода.

В результате:

$$Z_e = \frac{1,1 C_e T F_{\max} V_{kon}}{\int \eta} + Z_{TOUP} = \frac{C_1}{\int \eta} + C_2, \quad (10)$$

где C_1 , и C_2 постоянные величины.

Эксплуатационные затраты обратно пропорциональны интегральному КПД. Поэтому интегральный КПД можно выбрать в виде критерия оптимальности типа тягового электропривода.

Для выбора конкретного типа тягового электропривода необходимо определить интегральные КПД альтернативных конструкций и выбрать электропривод с максимальным значением интегрального КПД.

Выбор типа тягового электропривода можно производить только по критерию эксплуатационный затрат определенный с использованием интегрального КПД так как на 3 этапе уже определены оптимальные параметры тягового электропривода по критерию капитальных затрат.

ВЫВОДЫ. Предложенный алгоритм позволяет выбрать оптимальный тип тягового электропривода с учетом эксплуатации СПС в заданных условиях на железной дороге.

Предложен критерий эффективности тягового электропривода – интегральный КПД, учитывающий не только КПД электропривода, но и режимы его эксплуатации.

Список литературы: 1. Калинин В.К. Электровозы и электропоезда. – М.: Транспорт, 1991. – 480с. 2. Корниенко В.В., Омеляненко В.И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 3. Любарский Б. Г, Зюзин Д. Ю., Рябов Е. С., Глебова Т. В. Тяговый привод для высокоскоростного подвижного состава //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – №42., С. 72-77.

Поступила в редакцию 30.09.2010