

УДК 621.311

А. А. ШАВЕЛКИН (канд.техн.наук, доц.),
С.С. БАГДАСАРЯН (канд.техн.наук, доц.), **Д.Н. МИРОШНИК**
Донецкий национальный технический университет
sha@dgtu.donetsk.ua

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПИТАНИЕМ ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

В данной статье рассматриваются вопросы улучшения энергетических показателей за счет снижения потерь в аккумуляторной батарее и выравнивания нагрузок двигателей применительно многодвигательного тягового асинхронного электропривода. Предложена структура системы автоматического регулирования, выполнен синтез ее регуляторов.

Постановка задачи. Большинство тяговых электроприводов (ТЭП) включают в себя два и более тяговых двигателей (шахтный электровоз, электроподвижной состав, электромобиль) с целью увеличения развиваемого момента ТЭП по условию сцепления с поверхностью движения. При этом возникает задача выравнивания нагрузок двигателей, которая в существующих системах ТЭП [1] может быть частично решена последовательным включением двух и более двигателей постоянного тока (ДПТ).

В [2] предлагается использование в тяговом асинхронном электроприводе (ТАЭП) шахтного электровоза одного асинхронного двигателя (АД) с общим редуктором на две колесные пары. Тогда при движении по криволинейной траектории возникающая разница в скоростях движения может быть скомпенсирована (теоретически) переходом передней колесной пары на больший диаметр [3]. Однако если разница в скоростях при повороте передней и задней колесной пары не будет достигнута, или возникнет случайный процесс попадания колесных пар на разные диаметры при прямолинейном движении, тогда колеса будут пробуксовывать, что связано с большими потерями энергии. В этом случае необходимо устанавливать межосевой дифференциал (рельсовый и дорожный транспорт), который бы гасил разницу в скорости колесных пар. В электроприводе электромобиля требуется также устанавливать межколесный дифференциал, который бы гасил разницу в скорости между колесами (в рамках данной работы не рассматривается). Однако размещение дифференциалов в осях локомотива и управление ими [4] является сложным и дорогостоящим решением. В реальности задача выравнивания нагрузок (моментов или токов) АД при использовании общего источника предполагает применение индивидуального электропривода (ИЭП) и соответствующей системы автоматического регулирования (САР). При этом следует различать задачи выравнивания токов и моментов АД, которые будут эквивалентными только в первой зоне регулирования скорости вращения при постоянном магнитном потоке. В случае, если вращение двигателей осуществляется при разных потоках (при вращении ротора со скоростью выше номинальной при движении многодвигательного ТАЭП по криволинейной траектории), выравнивание моментов может привести к дополнительной перегрузке по току одного из двигателей. Если такая перегрузка недопустима для преобразователя частоты (ПЧ), задачу выравнивания нагрузок АД можно считать задачей выравнивания токов АД. При этом исключается возможность пробуксовывания механизма, поскольку момент, зависящий от потока, в зоне частот выше номинальной будет не больше заданного при ослаблении поля. Тогда все двигатели и ПЧ в ИЭП работают с одинаковыми токовыми нагрузками, что способствует увеличению их надежности.

При ограниченных возможностях аккумуляторной батареи (АБ), как источника, актуальным является вопрос эффективного использования ее энергии. Это позволит увеличить ее ресурс, надежность, эксплуатационные характеристики [5]. Для анализа эффективности работы АБ были проведены экспериментальные исследования тяговой свинцово-кислотной АБ РзS емкостью $C_{AB}=630$ Ач, состоящей из 60 элементов. В результате исследований процесса разряда АБ током $I_{AB}=0.2C_{AB}$ установлены значения ее внутреннего сопротивления $R_{AB100\%}=0.07$ Ом и ЭДС $E_{100\%}=130$ В (при 100% заряде АБ). Полученные значения позволяют оценить эффективность работы полностью заряженной АБ: $\eta_{AB100\%}=0.93$. Поскольку R_{AB} изменяется до 5 раз [6] (в зависимости от степени разряженности), задача учета энергетических процессов в системе АБ-ТАЭП является актуальной.

В [7] показано, что регулирование с постоянством тока дизель-генератора в ТЭП постоянного тока является оптимальным по потерям. Отличие данных исследований в том, что в качестве источника используется АБ, а в качестве нагрузки – ПЧ-АД. В [5] показано, что наиболее эффективным, с точки зрения потерь в АБ, является закон регулирования I_{AB} с постоянным значением электрического КПД АБ η_{AB} :

$$\eta_{AB} = \text{const} \left(I_{AB} = \frac{E \cdot \text{const}}{R_{AB}} \right). \quad (1)$$

© Шавелкин А.А., Багдасарян С.С., Мирошник Д.Н., 2011

Поскольку E зависит от плотности электролита [8], реализация закона (1) затруднена. В соответствии с [7] при невозможности реализации наиболее эффективного закона управления разрядным током, с точки зрения потерь в АБ, необходимо выбрать частный случай (1), который технически реализуется значительно проще.

В [5] применительно системы АБ-ТАЭП доказана принципиальная возможность создания системы регулирования разрядного тока тягового асинхронного электропривода. При этом доказана необходимость синтеза контура регулирования разрядного тока с привязкой к постоянной времени контура регулирования момента (активного тока). Такой подход при условии увеличения инерционности контура регулирования скорости обеспечивает робастность к изменению момента инерции механизма. Наличие контура регулирования скорости связано с технологической необходимостью ограничения максимального значения частоты вращения ротора ω_{max} . Применение закона $I_{AB} = const$ при увеличении R_{AB} в пять и более раз приводит к уменьшению η_{AB} с 0.93 до 0.65. При этом, что не менее важно допускается полный разряд АБ. Это приводит к необратимым химическим реакциям в ней (сульфатация) и преждевременному выходу ее из строя.

Цель работы: выравнивание нагрузок АД в многодвигательном аккумуляторном ТАЭП при одновременном повышении энергетических и эксплуатационных показателей. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) разработать структуру системы автоматического регулирования, позволяющую улучшить энергетические показатели и надежность системы АБ-ТАЭП и обеспечить выравнивание нагрузок ИЭП, работающих в режиме задания активного тока статора (момента); 2) синтезировать регуляторы напряжения и разрядного тока, формирующие задание электромагнитного момента; 3) выполнить анализ работы системы.

Результаты исследований. Функциональная схема многодвигательного ТАЭП приведена на рис.1. На ней i -ый ИЭП состоит из импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) с контуром регулирования напряжения (КРН) в звене постоянного тока (на рис.1 не показана), инвертора и АД. Каждый i -ый ИППН выполняет функцию согласования АД и АБ по напряжению [9].

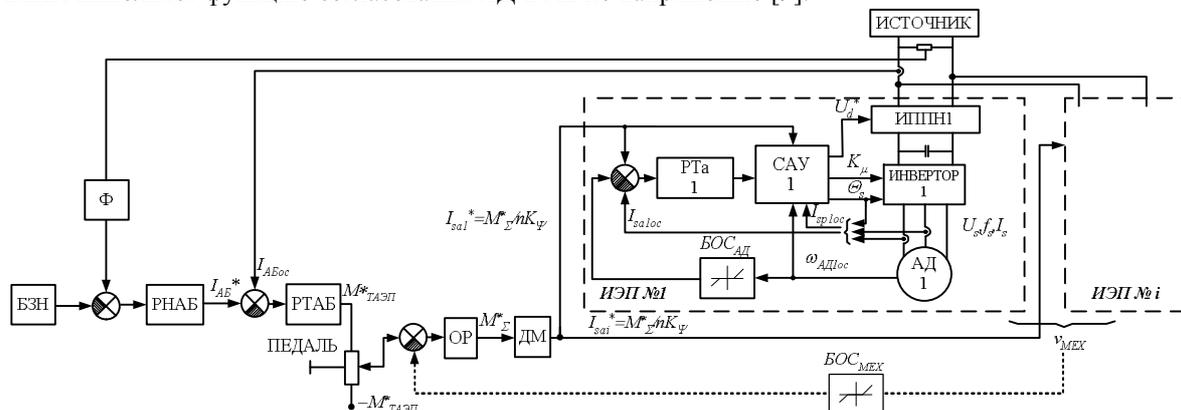


Рисунок 1 – Функциональная схема многодвигательного ТАЭП с питанием от АБ с улучшенными энергетическими показателями

Каждый i -ый ИЭП работает в режиме задания активного тока АД в системе векторного полеориентированного управления с комбинированным формированием напряжения на статоре [10]. Такой подход дает возможность уменьшить модуляционные потери в АД [9]. При этом регулятор активного тока статора (РТА i) i -ого ИЭП компенсирует постоянную времени рассеяния статора T_{osi} своего АД, и имеет постоянную времени, которая привязана к постоянной времени КРН $T_{КРН}$. Обратная связь I_{saioc} формируется с помощью двух сигналов мгновенных фазных токов статора и угла поворота системы координат, вращающейся синхронно с вектором напряжения статора. С выхода РТА i сигнал поступает на блок системы автоматического управления активным током статора (САУ i). Ее функцию выполняет система регулирования потокосцепления ротора с внутренним контуром регулирования реактивного тока статора, блок упреждающей компенсации внутренних связей АД [11] и блок формирования трех сигналов управления преобразовательным устройством (коэффициент модуляции K_u , угол поворота вектора напряжения статора θ_s – в инверторе, сигнал задания на напряжение в звене постоянного тока U_d^* – в ИППН).

Задание активного тока формируется косвенным способом с помощью делителя момента (ДМ). В предположении, что частота вращения ИЭП не превышает номинального значения, I_{sai}^* определяется как отношение общего момента задания M_Σ^* к числу ИЭП n и конструктивной постоянной $K_\Psi = 0.66 / (Z_p K_r \Psi_{r(nom)})$ (где $\Psi_{r(nom)}$ – номинальное потокосцепление ротора; Z_p – число пар полюсов АД; K_r – коэффициент приведения). Тогда при попадании во вторую зону максимальный момент ИЭП будет зависеть от величины ослабления поля $(\omega_{s(nom)} / \omega_s)$ (где ω_s угловая частота тока статора АД). В этом случае токовые нагрузки на полупроводниковые приборы инвертора и АД всех ИЭП будут одинаковыми. Кроме того, с введением ограничителя рывка (ОР), формируется ограничение ускорений ТАЭП.

При этом ограничение скорости выполняет блок отсечки по скорости (БОС). Его функцией является уменьшение заданного значения активного тока i -ого ИЭП I_{sai}^* до значения, соответствующего статическому

моменту, при увеличении скорости вращения АД выше $\omega_{АД} > \omega_{оп}^*$ (БОС_{АД}). При этом возможно также технологическое ограничение общей скорости ТАЭП $v_{МЕХ}$ с помощью БОС_{МЕХ}.

Для того, чтобы улучшить энергетические характеристики системы АБ-ТАЭП можно воспользоваться частным случаем закона формирования $I_{АБ}$ (1) при неизменной ЕДС АБ:

$$I_p = \frac{const}{R_{вн}} (U_{АБ} = const) . \quad (2)$$

Физический смысл закона (2) состоит в обеспечении постоянства падения напряжения АБ, или постоянства напряжения на выходе АБ подобно ТЭП с ДПТ [12]. С точки зрения эффективности использования энергии АБ является актуальной задача регулирования $I_{АБ}$ при реализации системы автоматического регулирования (САР) электропривода в соответствии с (2). При этом увеличивается отдача АБ по энергии, за счет одновременного увеличения отдачи по емкости и отдачи по напряжению (уменьшение потерь мощности). За счет этого увеличивается остаточная емкость, что увеличивает надежность АБ [6]. Техническим эффектом является увеличение цикла бесподзарядной работы электрохимического источника, и его остаточной емкости. В обоих случаях улучшаются энергетические и эксплуатационные возможности системы АБ-ТАЭП.

Реализация закона регулирования (2) возможна с помощью датчиков разрядного тока $I_{АБ}$ и напряжения источника $U_{АБ}$ с фильтром Ф (рис.1). При этом функция САР может быть определена, как ограничение разрядного тока в соответствии с заданным значением напряжения АБ (2).

В соответствии со структурой системы электропривода [5], формирование сигнала задания $M_{ТАЭП}$ должно осуществляться с выхода внешнего регулятора тока АБ (РТАБ) или регулятора электрической мощности, на вход которого поступает сигнал ошибки регулирования $I_{АБ}$.

При этом выход РТАБ ограничен на уровне M_{max} . Задание сигнала $I_{АБ}$ осуществляется внешним регулятором напряжения АБ (РНАБ). На его вход поступает сигнал ошибки между заданным $U_{АБ}^*$ (блок задания напряжения БЗН) и фактическим значением $U_{АБ}$, а выход ограничен на уровне $0.2C_{АБ}$ [13].

Таким образом, ТЭП либо формирует закон $I_{АБ} = const$ (если РНАБ находится в режиме отсечки по току АБ), либо закон $U_{АБ} = const$ при уменьшении $I_{АБ}$ в процессе разряда источника.

Отличие данной схемы от [5] в том, что РТАБ формирует заданный момент ТАЭП $M_{ТАЭП}^*$, в рамках которого машинист с помощью «педали» формирует заданный момент. Так если $I_{АБ} < I_{АБ}^*$ контуры регулирования тока и напряжения АБ – отключены. В этом случае машинист управляет электроприводом в режиме задания активного тока (момента) в соответствии с уравнением движения. При этом возможны тормозные режимы с рекуперацией кинетической и потенциальной энергии в источник (педаль имеет возможность задания отрицательных моментов).

Функцией блока задания напряжения АБ (БЗН) является ограничение минимального его значения. Например, если БЗН задает значение напряжения АБ $U_{АБ}^*$ больше, чем $E_{K_{ocUAB}}$ (K_{ocUAB} - коэффициент обратной связи по напряжению АБ) полностью заряженной батареи, следовательно ТАЭП не запустится. Если же БЗН задает $U_{АБ}^* < E_{K_{ocUAB}} - I_{АБ}$ будет ограничен значением $0.2C_{АБ}$, либо будет уменьшаться в зависимости от состояния разряда АБ. При этом минимальное значение напряжения АБ $U_{АБ(min)}^*$ должно соответствовать, конечному значению разряда [6].

Однако поддержание $U_{АБ} = (E_{100\%} - R_{АБ100\%} 0.2C_{АБ})$ не является эффективным, поскольку при изменении E и $R_{АБ}$, уменьшится $I_{АБ}$. Данный процесс сопровождается снижением скорости и снижением КПД АД в зоне статических моментов близких к номинальному. В результате ТАЭП значительно теряет в производительности. При этом, чем выше значение $U_{АБ}^*$, тем меньше потери энергии АБ, тем больше остаточная емкость АБ и тем выше ее надежность. Поэтому задача определения оптимального заданного значения $U_{АБ}^*$ может быть сведена к нахождению максимально возможного ее значения, для прохождения ТАЭП заданного пути в заданный промежуток времени. Решение данной задачи возможно для конкретного случая применения ТАЭП.

Если же производительность не имеет значения, $U_{АБ}^*$ может быть приближенно определено исходя из условия остаточной емкости АБ: $U_{АБ}^* = (E_{100\%} - K_c R_{АБ100\%} 0.2C_{АБ}) K_{ocUAB}$, где K_c – коэффициент увеличения $R_{АБ}$ по сравнению с его величиной для полностью заряженной АБ, для заданного значения остаточной емкости АБ. Так например при $K_c = 1.7$ (остаточная емкость 20%), $U_{АБ}^* = (115В) K_{ocUAB}$. При уровне остаточной емкости АБ меньше 20%, АБ работает с $\eta_{АБ} = 0.88$, что не менее чем на 0.23, больше значения $\eta_{АБ}$ при поддержании постоянства разрядного тока в конце разряда.

Передаточная функция РТАБ имеет вид:

$$W_{РТАБ}(s) = \frac{U_{АБ(min)} K_{ocM}}{\omega_{MAX} K_{ocIAB}} \frac{I}{T_{ТАБ} s}, \quad (3)$$

где: K_{ocM} , K_{ocIAB} - коэффициенты обратной связи соответственно по моменту и току АБ; $U_{АБ(min)}$ – минимальное значение напряжения АБ при разряде; $\omega_{АД(max)}$ – максимальное значение скорости ротора АД; $T_{ТАБ} = 2(T_M + T_{OP})$ – постоянная времени РТАБ; T_M – постоянная времени контура регулирования момента (активного тока статора); T_{OP} – постоянная времени формирования линейного задания момента в ОР.

Передаточная функция РНАБ имеет вид:

$$W_{РНАБ}(s) = \frac{K_{ocIAB}}{R_{АБ(MAX)} K_{ocUAB}} \frac{I}{T_{НАБ} s}, \quad (4)$$

где: $R_{AB(MAX)}$ – максимальное значение; $T_{НАБ}=2(T_{фн}+K_{уТАБ}T_{ТАБ})$ – постоянная времени контура регулирования напряжения АБ; $T_{фн}$ – постоянная времени фильтра напряжения 1-го порядка; $K_{уТАБ}$ – коэффициент увеличения $T_{ТАБ}$ при отклонении $\omega_{АД}$ и $U_{АБ}$ от их граничных значений в (3).

Поскольку в системе АБ-ТАЭП механическая связь между двумя и более двигателями осуществляется через скорость вращения, то при работе в режиме задания момента эта связь отсутствует. Следовательно, для проверки результатов достаточно выполнить моделирование работы ТАЭП с одним двигателем. На рис.2 показаны результаты моделирования работы однодвигательного ТАЭП шахтного электровоза (АМ-8д) при

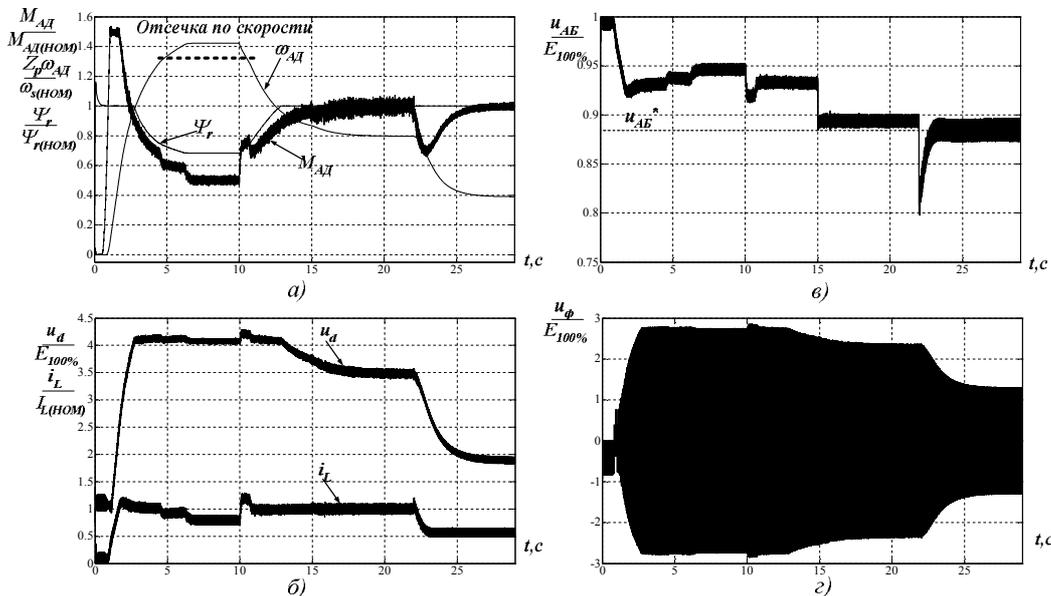


Рисунок 2 – Результаты моделирования однодвигательного ТАЭП с улучшенными энергетическими показателями:

а) параметры АД; б) параметры ИППН; в) выходное напряжение АБ; г) выходное напряжение инвертора

питании от АБ (PzS630) с улучшенными энергетическими показателями со следующими параметрами: $U_{АБ}^*=115В$; $T_{ТАБ}=0.1с$; $T_{НАБ}=0.5с$; $I_{АБ(max)}=126А$; постоянная времени КРН $T_{КРН}=4мс$; $T_M=0.006с$; индуктивность дросселя $L=2.5мГн$; емкость $C=1мФ$; амплитуда пульсаций тока дросселя на входе ИППН $\Delta I_L=10А$; $T_{фн}=50мс$; постоянная времени фильтра 1-го порядка в контуре регулирования тока дросселя $T_{фЛ}=0.5мс$; $E=130-125В$; $R_{АБ}=0.07-0.14Ом$; АД типа ВРП180М8; $P_{ном}=15кВт$; $n_{ном}=722об/мин$; $n_{max}=1080об/мин$; $J_{мех}=3.7кгм^2$.

Исследовались пуск АД с постоянным моментом, увеличение момента сопротивления (движение под уклон), уменьшение E и увеличение $R_{АБ}$. В момент времени $t=0.5с$ начинается разгон с статическим моментом $M_c=0.5M_{ном}$. При достижении $I_{АБ}$ заданного значения 5-часового разряда уменьшается момент АД. При $\omega_{АД}=\omega_{АД(огр)}$ привод работает в режиме отсечки по скорости. При этом увеличение $\omega_{АД}$ по отношению $\omega_{АД(огр)}$ зависит от величины коэффициента передачи БОС. Поскольку $I_{АБ}<I_{АБ}^*$ РТАБ и РНАБ отключены. В момент времени $t=10с$ увеличивается статический момент до значения $M_c=M_{ном}$, $I_{АБ}$ становится больше $I_{АБ}^*$, включается РТАБ. При этом $U_{АБ}^*<U_{АБ}$, РНАБ находится в режиме отсечки по току $I_{АБ}=126А$ (5-часовой разряд). РТАБ уменьшает значение заданного момента M^* таким образом, чтобы мощность, отдаваемая источником, соответствовала бы заданному режиму разряда. Поскольку $M_{АД}<M_c$ начинается замедление ТАЭП. При выходе из режима отсечки по скорости РТАБ формирует момент АД вплоть до установившегося режима работы ТАЭП, обеспечивая постоянство тока $I_{АБ}=126А$. В момент времени $t=15с$ происходит уменьшение E со 130В до 125В, что может быть в реальности связано с переплюсовкой батареи. Поскольку $U_{АБ}^*<U_{АБ}$, РНАБ по-прежнему находится в режиме отсечки по току. Данное внешнее возмущение незначительно по отношению к величине всей ЭДС АБ, что свою очередь объясняет незначительное отклонение динамического момента в переходном режиме. При уменьшении $M_{АД}$ происходит замедление. При этом полезная мощность ТАЭП уменьшается за счет уменьшения частоты вращения ротора при постоянной статической нагрузке. В соответствии с балансом мощностей ТАЭП, уменьшение полезной мощности обусловлено уменьшением мощности, отдаваемой источником, при обеспечении постоянства разрядного тока. В момент времени $t=22с$ происходит увеличение $R_{АБ}$ с 0.07 Ом до 0.14 Ом. Данное возмущение возможно как при переплюсовке батарей, так и при обычном разряде АБ. В этом случае $U_{АБ}^*>U_{АБ}$, включается в работу РНАБ уменьшая $I_{АБ}^*$ стремясь поддержать $U_{АБ}=U_{АБ}^*$ (2). При этом переходный процесс $M_{АД}$ характеризуется снижением $I_{АБ}$ с завышенной инерционностью контура регулирования напряжения АБ (4). Этот факт поясняет отклонение динамического момента на треть от момента статического. Вместе с тем, поскольку ТАЭП работает в длительных режимах, кроме того скачкообразное изменение $R_{АБ}$ есть маловероятным, можно считать данный переходный процесс допустимым. Если принять изменение $R_{АБ}$ и E незначительным по величине во времени, тогда момент тоже будет изменяться незначительно.

Для данных условий улучшение энергетических показателей системы АБ-ТАЭП, возможно за счет уменьшения разрядного тока. Так КПД АД при пуске АД и при набросе нагрузки $\eta_{АБ}=0.93$. При попадании частоты вращения ротора под отсечку, $\eta_{АБ}$ увеличился до 0.95. При увеличении момента сопротивления движению $\eta_{АБ}$ уменьшился до 0.935. При уменьшении E в 0.96 раз $\eta_{АБ}$ уменьшился до 0.89/0.96=0.925. При увеличении $R_{АБ}$ в 2 раза $\eta_{АБ}$ уменьшился до

0.92. Если бы продолжался разряд с постоянным $I_{AB}=0.2C_{AB}$, η_{AB} составил бы 0.86, что на 0.06 меньше, чем при $U_{AB}=115В$. При больших увеличениях R_{AB} энергоэффективность от применения данного способа возрастает.

Выводы: В работе показана возможность создания многодвигательного ТАЭП с улучшенными энергетическими показателями без контура регулирования скорости при индивидуальном питании двигателей, работающих в режиме регулирования активного тока статора. Синтезированный регулятор тока АБ (3) позволяет формировать общий момент, развиваемый многодвигательным тяговым электроприводом. За счет синтеза внешнего регулятора напряжения (4), формирующего разрядный ток АБ, обеспечивается улучшение энергетических и эксплуатационных характеристик системы АБ-ТАЭП, что подтверждено результатами моделирования.

Практическая значимость: Предложенная структура тягового электропривода при питании от АБ может быть названа обобщенной. Ее применение возможно для любых электрических машин переменного тока (синхронный двигатель, вентильно-реактивный двигатель, асинхронный двигатель), работающих в режиме задания момента. При этом, для источников с постоянными величинами ЭДС и внутреннего сопротивления, достаточным является использование контура тока источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта: учебник для студ. О-75 высш. учебн. заведений / [М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др.]; под общей ред. М.А. Слепцова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 464с.
2. Ставицкий В.Н. Математическое моделирование управляемого асинхронного электропривода с вентильно-трансформаторным инвертором для шахтного электровоза: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.09.03 «Электротехнические системы и комплексы» / Владимир Николаевич Ставицкий. – Донецк, 2002. – 208с.
3. Розенфельд В.Е. Теория электрической тяги / В.Е.Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н.Сидоров [та ін. под ред. И.П.Исаева]. – М.:Транспорт,1995. – 294с.
4. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю.Мацкерле [Пер. с чешск. В.Б.Иванова; под ред. А.Р.Бенедиктова]. – М.: Машиностроение, 1987. – 320с.:ил.
5. Шавёлкин А.А. Тяговый асинхронный электропривод с регулированием разрядного тока аккумуляторной батареи / А.А. Шавёлкин, Д.Н. Мирошник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет». – 2010, №28. – С. 351-352.
6. Стационарные свинцово-кислотные герметизированные аккумуляторы «SUNLIGHT» серии SP: Техническое описание и инструкция по установке, техническому обслуживанию и эксплуатации. - ООО «САНЛАЙТ УКРАИНА С.Р.Л.».
7. Петров Ю.П. Оптимальное управление электроприводом / Ю.П. Петров. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1961. 187 с.
8. Петров. В.М. Электрооборудование, электронные системы и бортовая диагностика автомобиля: учебное пособие / В.М.Петров, И.Ф. Дьяков. – Ульяновск : УлГТУ, 2005. – 114 с.
9. Шавёлкин А.А. Регулирование напряжения в частотном электроприводе с преобразователем напряжения в звене постоянного тока / А.А. Шавёлкин, Д.Н. Мирошник // Наукові праці ДонНТУ. Серія Електротехніка та Енергетика. – 2007. – Вип. 110. – С.76-79.
10. Шавёлкин А.А. Особенности реализации векторного управления в асинхронном электроприводе при регулировании напряжения в звене постоянного тока / А.А.Шавёлкин, Д.Н.Мирошник // Вісник Національного технічного університету. – 2008. - Вип. 30. – С.431-432.
11. Толочко О.И. Способы компенсации влияния внутренних связей асинхронного двигателя при векторном управлении / О.И. Толочко, Д.Н. Мирошник //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет». – 2002. - №12. - Т.1. – С.102-103.
12. Импульсный регулятор MoviCar 1625C: руководство пользователя, rev.1.1/ Мовиком. - 2010. – 14 с.
13. Батареи аккумуляторные свинцовые тяговые: ГОСТ Р 52846-2007; Основные требования и методы испытаний. - Ч. 1.

Надійшла до редколегії 02.12.2010

Рецензент: О.П.Чорний

О.О. ШАВЬОЛКИН, С.С. БАГДАСАРЯН,
Д.Н. МИРОШНИК
Донецький національний технічний університет

A. SHAVYOLKIN, S. BAGDASARYAN,
D. MIROSHNYK
Donetsk National Technical University

Поліпшення енергетичних показників багатодвигунного тягового асинхронного електроприводу з живленням від акумуляторної батареї. У даній статті розглядаються питання поліпшення енергетичних показників за рахунок зменшення втрат потужності в акумуляторній батареї і вирівнювання навантажень багатодвигунного тягового асинхронного електроприводу. Запропоновано структуру системи автоматичного регулювання, виконано синтез її регуляторів.

Improvement of Power Indicators of the Multiimpellent Tractive Asynchronous Electric Drive with a Charge Battery. In this article we considered the questions related to improving power indicators due to decreasing power losses of charge battery and loadings alignments of the multiimpellent traction asynchronous electric drive. The structure of automatic control system is offered, synthesis of its regulators is carried out.