

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КПД КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОПИТАНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ

А.К. Шидловский, академик НАН Украины, **В.Б. Павлов** докт.техн.наук, **В.Е Павленко**
Институт электродинамики НАН Украины,
пр.Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина
E-mail: mobil99@ukr.net

Выполнен анализ зависимости КПД комбинированной системы энергопитания автономного электротранспорта от параметров управления силовым полупроводниковым преобразователем и генератором постоянного тока. Определены рациональные нагрузочные режимы, позволяющие получить максимально возможный КПД системы во всём диапазоне регулирования. Библ. 4, рис.4.

Ключевые слова: комбинированная система энергопитания, транспортное средство, преобразователь.

Повышение эффективности автономных систем энергопитания предусматривает существенное улучшение энергетических и технико-экономических показателей этих систем в целом. В отношении систем автономного электротранспорта повышение эффективности означает улучшение абсолютных и удельных показателей энергопотребления и, как следствие, увеличение межзарядного пробега транспортных средств. Эта проблема может решаться различными путями: улучшением энергетических и эксплуатационных показателей бортового электрооборудования; использованием режима рекуперативного торможения с возможно максимальным количеством энергии, возвращаемой первичному источнику питания (тяговой аккумуляторной батарее); разработкой соответствующей методологии и специализированных систем управления силовыми и вспомогательными преобразователями для обеспечения оптимальных (субоптимальных) режимов движения и функционирования вспомогательных систем преобразования [3, 4].

Из энергетических показателей автономной системы энергопитания предпочтение зачастую отдаётся КПД, как наиболее общему показателю энергетической эффективности отдельных компонентов и системы привода в целом.

Целью настоящей работы является анализ зависимости КПД комбинированной системы энергопитания автономного электротранспорта от параметров управления при импульсном регулировании скорости вращения двигателя постоянного тока и обоснование рационального режима управления потоками энергии от двух источников для достижения максимально возможного КПД системы.

В [2] разработан метод, позволяющий выполнять исследование энергетической эффективности транспортных автономных систем энергоснабжения с точки зрения КПД как поэлементно, так и на системном уровне, в котором общий КПД системы аккумуляторная батарея – импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока (АБ-ИП-ДПП) с транзисторным преобразователем и емкостным фильтром в цепи батареи определяется выражением

$$\eta_{\text{общ}} = 1 - (\Delta P_{\text{Б}}^* + \Delta P_{\text{С}}^* + k_1 \Delta P_{\text{П}}^* + k_2 \Delta P_{\text{Я-Д}}^*) / P_{\text{Б-С}}^*, \quad (1)$$

где $k_1 = P_{\text{Б-С}}^* / P_{\text{П}}^*$, $k_2 = P_{\text{Б-С}}^* / P_{\text{Я-Д}}^*$ – коэффициенты приведения мощности, $\Delta P_{\text{С}}^*$ – потери в цепи конденсатора, $\Delta P_{\text{Б}}^*$, $\Delta P_{\text{Б-С}}^*$, $\Delta P_{\text{П}}^*$, $\Delta P_{\text{Я-Д}}^*$ – потери в аккумуляторной батарее, потери в контуре «аккумуляторная батарея – конденсатор», потери в цепи преобразователя и якоря двигателя с обратным диодом (в относительных единицах).

При этом осуществляется выбор базового параметра, по отношению к которому целесообразно осуществить переход к относительным единицам для выражений мощности потерь и потребления, а также токов элементов (контуров) системы. Целесообразность выбора того или иного параметра определяется максимумом упрощений в выражениях, получаемых в относительных единицах по сравнению с соответствующими выражениями в абсолютных единицах. Таким параметром может быть ток короткого замыкания источника питания или двигателя, а также соответствующие мощности короткого замыкания.

Применим этот метод для оценки КПД комбинированной системы энергопитания, в которой добавляется генератор постоянного тока, подключенный через диод к аккумуляторной батарее. В этом случае формула КПД комбинированной системы будет иметь вид

$$\eta_{\text{ккмб}} = 1 - (\Delta P_{\text{Б}}^* + \Delta P_{\text{С}}^* + k_1 \Delta P_{\text{П}}^* + k_2 \Delta P_{\text{Я-Д}}^* + k_3 \Delta P_{\text{Г}}^*) / P_{\text{БС}}^* \quad (2)$$

где $k_3 = P_{\text{Б-С}}^* / P_{\text{Г}}^*$; $\Delta P_{\text{Г}}^*$ – потери в цепи генератора.

Проведены расчеты КПД для комбинированной системы энергопитания привода транспортного средства, составляющие компоненты которого имеют следующие технические характеристики [1]:

– аккумуляторная батарея НЦ-125-У2: $I_{\text{макс}} = 250$ А; $U_{\text{ном}} = 135$ В; $I_{\text{к.з.}} = 1350$ А; $r_{\text{и}} = 0,1$ Ом;

– транзисторный преобразователь: $P_{\text{макс}} = 30$ кВт; $U = 50-180$ В; $r_{\text{Т}} = 0,0057$ Ом;

– тяговый двигатель и генератор постоянного тока ПТ-125: $P_{\text{макс}} = 25$ кВт; $I_{\text{макс}} = 250$ А; $r_{\text{я}} = 0,05$ Ом; $L_{\text{я}} = 0,5$ мГн.

Ни рис. 1 показаны зависимости КПД системы энергоснабжения от тока нагрузки, частоты коммутации и скважности для базовой системы (с аккумуляторной батареей), там же представлен график КПД генератора. На рис. 2 представлены графики комбинированной системы с генератором постоянного тока, включенным параллельно с аккумуляторной батареей, расчеты которых выполнены по аналитическому выражению (2) для КПД комбинированной системы энергоснабжения при $I_{\text{Б}}^* = I_{\text{Г}}^* = 0,5 I_{\text{Н}}^*$. На рис. 1–4: $I_{\text{Н}}^*$, $I_{\text{Б}}^*$, $I_{\text{Г}}^*$ – токи нагрузки, аккумуляторной батареи и генератора в относительных единицах; γ – скважность (коэффициент заполнения импульсного цикла).

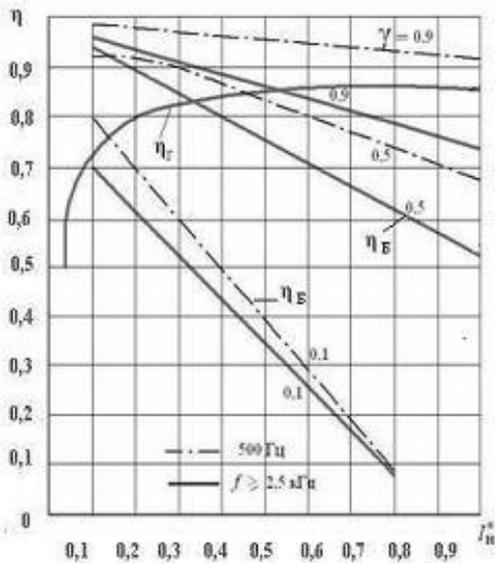


Рис.1

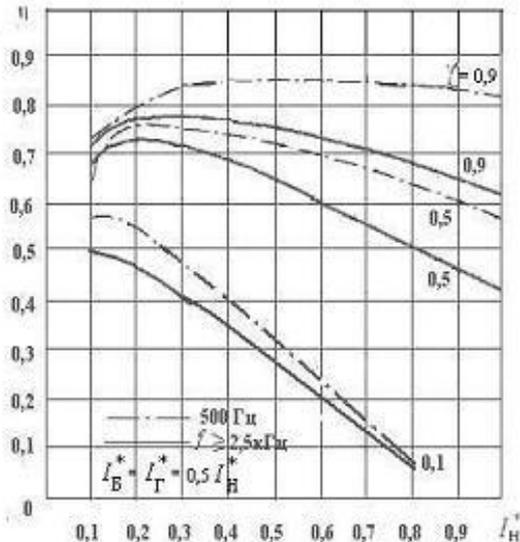


Рис.2

Анализ зависимостей на рис. 2 показывает, что характер зависимости КПД от частоты и скважности остается неизменным для обоих случаев, а от тока нагрузки – значительно различаются как по характеру изменения, так и по абсолютным значениям, то есть накладывают существенный отпечаток (на общий характер КПД) изменения КПД генератора постоянного тока. В то время как при малых токах нагрузки КПД системы с АБ имеет высокие значения, а КПД системы с генератором ниже и наоборот, при больших токах нагрузки общий КПД с генератором повышается, начиная со значений $> 0,5 I_{\text{Н}}^*$.

Используя полученное аналитическое выражение для КПД, можно проследить, каким образом влияют различные соотношения токов от АБ и генератора на величину КПД и характер его изменения от тока нагрузки. На практике такое различие токов возможно при установке АБ различной емкости и генератора различной мощности, так как при этом у них могут существенно отличаться значения внутренних сопротивлений.

На рис. 3 показаны зависимости КПД для случая, когда $I_{\text{Б}}^* = 0,2 I_{\text{Н}}^*$, $I_{\text{Г}}^* = 0,8 I_{\text{Н}}^*$, а на рис.4 – для случая, когда $I_{\text{Б}}^* = 0,8 I_{\text{Н}}^*$, $I_{\text{Г}}^* = 0,2 I_{\text{Н}}^*$.

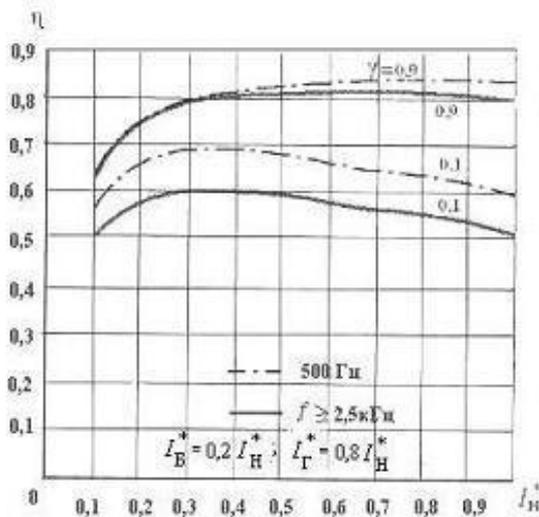


Рис. 3

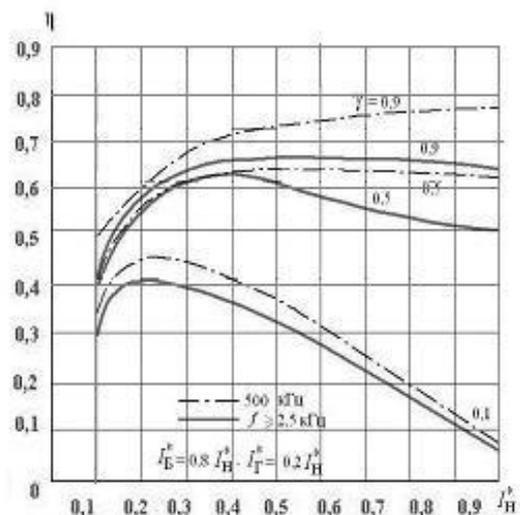


Рис. 4

В первом случае видим, что общий КПД значительно выше практически во всем диапазоне изменения тока нагрузки i , начиная со значения $0,2I_n^*$, выше, чем в режиме, когда $I_B^* = I_G^* = 0,5I_n^*$ (рис. 2). Из анализа приведенных графиков прослеживается устойчивая тенденция к снижению КПД при $I_G^* < I_B^*$, что объясняется резким снижением КПД генератора в области работы малых токов нагрузки; при крайнем соотношении $I_B^* = 0,8I_n^*$, $I_G^* = 0,2I_n^*$ даже значительное повышение КПД аккумуляторной батареи не приводит к увеличению общего КПД.

Таким образом, можно отметить, что, используя метод определения КПД системы энергопитания автономного электротранспорта, имеется возможность анализировать изменение КПД комбинированной системы, состоящей из двух источников энергии – электрохимического (аккумуляторной батареи) и генератора постоянного тока, работающих на одну нагрузку – двигатель постоянного тока.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что для повышения общего КПД рассматриваемой системы энергопитания необходимо управлять потоками энергии от двух источников, например, в области малых токов нагрузки осуществлять питание только от АБ, по мере нарастания I_n^* переходить на совместное включение АБ и генератора до определенных значений I_n^* , а затем – питание только от генератора.

1. Рычков В.А., Дениченко С.Л. Исследование тяговой никель-цинковой батареи для электромобиля // Техн. электродинамика. – 1982. – № 3. – С. 102 – 106
2. Скиданов В.М. Определение параметров оптимального управления преобразователем в автономных тяговых приводах постоянного тока // Техн. электродинамика. – 1985. – № 5. – С. 56 – 61.
3. Miller J.M. Hybrid electric vehicle propulsion system architectures of the e-CVT type // IEEE Trans. Power Electron. – 2006. – Vol. 21. – No. 3. – Pp. 756 – 767.
4. Zhu Z. Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles // Proc. IEEE. – 2007. – Vol. 95. – No. 4. – Pp. 764-765.

УДК 621.314

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ККД КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ ВІД ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ

А.К. Шидловський, академік НАН України, **В.Б. Павлов**, докт.техн.наук, **В.Є. Павленко**

Інститут електродинаміки НАН України,

пр.Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

E-mail: mobil99@ukr.net

Виконано аналіз залежності ККД комбінованої системи енергоживлення автономного електротранспорту від параметрів управління силовим напівпровідниковим перетворювачем і генератором постійного струму. Визначено раціональні навантажувальні режими, що дозволяють отримати максимально можливий ККД системи у всьому діапазоні регулювання. Бібл.4., рис. 4.

Ключові слова: комбінована система енергоживлення, транспортний засіб, перетворювач.

THE ANALYSIS OF THE RELATION OF COMBINED SYSTEM POWER SUPPLIES EFFICIENCY WITH CONTROL PARAMETERS

A.K.Shidlovskiy, V.B.Pavlov, V.E.Pavlenko

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

E-mail: mobil99@ukr.net

The analysis of the relation of combined system power supply efficiency with control parameters of the power semi-conductor converter and a dynamo is made. The optimal loading modes, that allowing to receive the greatest possible efficiency of system in all control band, are determined. References 4, figures 4.

Key words: combined power supply system, vehicle converter.

1. Rychkov V.A., Denichenko S.L. Study traction nickel-zinc batteries for electric vehicle // Tekhnicheskaja elektrodinamika. – 1982. – No 3. – Pp. 102 – 106 (Rus).
2. Skidanov V.M. Determining the optimal inverter control parameters in the autonomous traction drives DC // Tekhnicheskaja elektrodinamika. – 1985. – No 5. – Pp. 56 – 61 (Rus).
3. Miller J.M. Hybrid electric vehicle propulsion system architectures of the e-CVT type // IEEE Trans. Power Electron. – 2006. – Vol. 21. – No. 3. – Pp. 756 – 767.
4. Zhu Z. Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles // Proc. IEEE. – 2007. – Vol. 95. – No. 4. – Pp. 764-765.

Надійшла 15.02.2016
Остаточний варіант 23.05.2016