

УДК 62-83

В. А. Войтенко, канд. техн. наук

ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Аннотация. Исследуется зависимость удельных параметров асинхронных двигателей одинаковой мощности от значения синхронной скорости вращения их вала. Проводится сравнительный анализ удельных параметров асинхронных двигателей и двигателей внутреннего сгорания. На этом основании формулируются рекомендации по выбору параметров тяговых асинхронных двигателей электромобиля, при которых обеспечивается их конкурентная способность по отношению к двигателям внутреннего сгорания.

Ключевые слова: электромотобиль, автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, асинхронный двигатель, масса, удельный момент, удельная мощность, синхронная скорость, количество полюсов

V. A. Voytenko, PhD.

REQUIREMENTS TO PARAMETERS OF ASYNCHRONOUS HAULING ENGINE OF ELECTROMOBILE

Abstract. Dependence of specific parameters of combustion engines, and also specific parameters of identical power asynchronous engines on the value of synchronous speed of rotation of their billow is explored. The comparative analysis of specific parameters of asynchronous engines and combustion, which recommendations on the choice of parameters of hauling asynchronous engines of electro mobile, at which is provided them competition ability on mass to the combustion engines, are formulated on the basis of, engines is conducted.

Keywords: electro mobile, car, combustion, asynchronous engines, mass, specific moment, specific power, synchronous speed, amount of poles

В. А. Войтенко, канд. техн. наук

ВИМОГИ ДО ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Анотація. Досліджується залежність питомих параметрів асинхронних двигунів однакової потужності від значення синхронної швидкості обертання їх валу. Проводиться порівняльний аналіз питомих параметрів асинхронних двигунів і двигунів внутрішнього згорання. На цій підставі формулюються рекомендації щодо вибору параметрів тягових асинхронних двигунів електромобиля, при яких забезпечується їх конкурентна спроможність по відношенню до двигунів внутрішнього згорання.

Ключові слова: електромотобиль, автомобиль, двигун внутрішнього згорання, асинхронний двигун, маса, питомий момент, питома потужність, синхронна швидкість, кількість полюсів

Введение. При разработке электромобиля одним из важных требований, которым стремятся удовлетворить конструкторы, является требование обеспечить одинаковую или меньшую массу электромобиля по сравнению с автомобилем при одинаковых значениях их технических параметров и характеристик. Отсюда следует необходимость выбора параметров основных устройств энергетической установки электромобиля, при которых обеспечивается решение этой проблемы [1 – 10]. Тяговый электрический двигатель является не только основным, но и наиболее тяжёлым устройством, входящим в состав энергетической установки электромобиля.

Целью работы является определение требований к значениям параметров тягового электродвигателя, при которых его масса будет сопоставима с массой двигателя внутреннего сгорания при одинаковых значениях номинальной мощности и момента.

На рис. 1. показана функциональная схема механической трансмиссии автомобиля с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и подобная ей электро-механическая трансмиссия электромобиля с электрическим двигателем (ЭД).

© Войтенко В.А., 2014

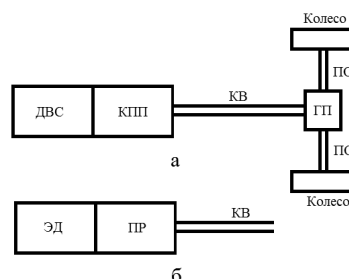


Рис. 1. Функциональные схемы трансмиссий автомобиля (а) и электромобиля (б)

Механическая трансмиссия автомобиля (рис. 1, а) состоит из коробки переключения передач (КПП), карданного вала (КВ), главной передачи (ГП), полуосей (ПО) и колёс. В состав электро-механической трансмиссии (рис. 1, б) вместо КПП входит планетарный редуктор (ПР). Эти схемы отличаются только тем, что в одной из них используется механический модуль, состоящий из ДВС и КПП, а во второй – электро-механический модуль, состоящий из ЭД и ПР. Параметры КВ, ГП, ПО и колёс в обеих схемах одинаковы. Если предположить, что масса автомобиля и электромобиля, а также их максимальная скорость

одинаковы, то мощность механической энергии, развиваемая ДВС и ЭД, при их движении с одинаковой скоростью также будет одинаковой.

Поскольку ДВС и ЭД, предназначенные для разных автомобилей, различаются номинальной мощностью, номинальным моментом и массой, то необходимо сравнивать ДВС и ЭД по удельным показателям, а именно, по номинальной мощности и номинальному моменту, которые приходятся на единицу массы двигателя. Для ДВС будем считать номинальной мощностью максимальную мощность ДВС, а номинальным моментом будем считать максимальный момент, развиваемый ДВС при полной подаче топлива в его цилиндры, которые можно оценить с помощью скоростных внешних характеристик ДВС.

Анализ технических характеристик ДВС показывает, что в основном удельная мощность ДВС находится в пределах от 0,3 кВт/кг до 0,95 кВт/кг. Значение удельного момента ДВС находится в пределах от 0,6 Н·м/кг до 2,3 Н·м/кг. Следовательно, для того чтобы на автомобиль можно было поставить ЭД вместо ДВС без увеличения массы автомобиля, необходимо чтобы значения удельных параметров ЭД по мощности и моменту были не хуже соответствующих параметров ДВС.

Поскольку известно, что при одинаковой массе двигателя его номинальная мощность зависит от номинальной скорости, то исследуем зависимость номинальной удельной мощности и номинального удельного момента ЭД от его номинальной скорости. Для этого, в качестве примера проанализируем значения удельных параметров асинхронных двигателей серии 4А исполнения IP44 мощностью 90 кВт с разным количеством пар полюсов [6].

1. Параметры двигателей мощностью 90 кВт серии 4А

Тип двигателя	$P_{н}$, кВт	$m_{эд}$, кг	$M_{н}$, Н·м	$P_{н}/m_{эд}$, Вт/кг	$M_{н}/m_{эд}$, Н·м/кг
4А355М12	90	1670	1741	53,89	1,04
4А355S10	90	1420	1455	63,38	1,03
4А315S8	90	1100	1163	81,82	1,06
4А280М6	90	835	875	107,78	1,05
4А250М4	90	535	580	168,22	1,09
4А250М2	90	510	290	176,47	0,57

Из таблицы видно, что для АД, у которых количество полюсов превышает два, номинальная удельная мощность увеличивается при увеличении синхронной скорости, а номинальный удельный момент почти не изменяется. Номинальная удельная мощность 2-полюсных АД незначительно превышает номинальную удельную мощность 4-полюсных АД, а номинальный удельный момент уменьшается почти в два раза. Если сравнить значение номинального удельного момента АД и ДВС, то видно, что по этому параметру АД соответствует ДВС. Что касается значения номинальной удельной мощности АД, то видно, что этот параметр у АД значительно меньше чем у ДВС. На основании данных, приведенных в табл.1,

для АД с числом полюсов больше 2-х можно описать зависимость значения номинальной удельной мощности от значения синхронной частоты вращения вала формулой

$$\frac{P_{н}}{m_{эд}} = 0,114 n_0 - 3 \quad (1)$$

На основании (1) можно получить формулу для определения значения синхронной частоты вращения вала АД, при которой обеспечивается требуемое значение номинальной удельной мощности,

$$n_0 = \frac{1}{0,114} \left(\frac{P_{н}}{m_{эд}} + 3 \right) \quad (2)$$

В частности, для обеспечения значения номинальной удельной мощности на уровне больше 1000 Вт/кг синхронная скорость АД должна удовлетворять условию

$$n_0 \geq 8798 \text{ об/мин}.$$

Таким образом, чтобы при одинаковой мощности масса АД не превышала массу ДВС, необходимо использовать двигатели с числом полюсов не меньше 4-х и с синхронной частотой вращения вала не меньше 9000 об/мин. При этом максимальная частота напряжения, подаваемого на обмотку статора, определяется выражением

$$f_s = \frac{n_0 p_p}{60} \quad (3)$$

где p_p – число пар полюсов АД.

Чем больше число пар полюсов в АД, тем больше должна быть частота напряжения, **Ошибка! Ошибка связи.** АД. Известно, что при увеличении частоты напряжения увеличиваются потери в стали обмотки статора. Для того, чтобы их уменьшить необходимо обеспечить работу АД на синхронной скорости с минимальной частотой, а для этого необходимо использовать АД с минимальным числом пар полюсов, т.е. необходимо выбрать АД с $p_p = 2$.

Аналогичные результаты получаются для АД других типов, соответствующей мощности.

Выводы

1. Для возможности конкуренции тяговых АД с ДВС необходимо, чтобы их номинальный удельный момент был не меньше 1 Н·м/кг, а номинальная удельная мощность – не меньше 1 кВт/кг.

2. Для уменьшения массы тягового АД до уровня массы ДВС одинаковой мощности необходимо применять АД с синхронной частотой вращения вала не меньше 9000 об/мин.

3. Для снижения мощности потерь энергии в стали необходимо применять 4-полюсные АД.

4. Тяговые АД с одной парой полюсов применять не рекомендуется из-за малого значения номинального удельного момента.

Список использованной литературы

1. Вершинин Д. В. Особенности выбора параметров бортового источника питания электротранспортного средства [Текст] /Д. В. Вершинин, В. А. Водичев, В. А. Войтенко, Е. А. Смотров // *Электромашиностроения та електрообладнання* – К. : – 2008.–Вип. 71.– С. 5 – 11.

2. Вершинин Д. В. Визначення параметрів основних вузлів електричної схеми електробуса [Текст] / Д. В. Вершинин, В. А. Войтенко, Є. О. Смотров // *Електромашинобудування та електрообладнання* – К. : – 2009. – Вип. 74. – С. 10 – 17.

3. Вершинин Д. В. Визначення вимог до енергетичних параметрів електроприводу мотор-коліс електробуса [Текст] / Д. В. Вершинин, В. А. Водічев, В. А. Войтенко, О. Г. Дашко, Є. О. Смотров // «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» – Харків : НТУ «ХПІ». – 2010. – № 28. – С. 303 – 304.

4. Войтенко В. А. К вопросу оптимизации параметров конденсаторной батареи автономного источника питания [Текст] / В. А. Войтенко // *Електромашинобудування та електрообладнання*. – К. : – 2010. – Вип. 76. – С. 87 – 93.

5. Войтенко В. А. Оптимізація параметрів конденсаторної батареї автономного джерела живлення електропривода електромобіля. [Текст] / В. А. Войтенко, В. А. Водічев // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-виробничого журналу* – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 261 – 263.

6. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. [Text] / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.

7. Wei H.a., Li P.a, Liu G.b, and others. (2010), Commutation Torque Ripple Reduction in Brushless DC Motor Based on Double Current Regulators [Text], *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban), Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 31 (6), pp. 691 – 694. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7775. 2010. 06. 016.

8. Vitols K., Reinberg N., and Galkin I. PID Regulator Implementation for Electric Kart DC Motor Current Stabilization [Text], (2012), *Elektronika ir Elektrotechnika*, pp. 7 – 10. DOI: 10.5755/j01.eee.l19.3.1353.

9. Bernat J., and Stepien S. Application of Optimal Current Driver for the Torque Control of BLDC Motor [Text], (2011), *Archives of Electrical Engineering*, 60 (2), pp. 149 – 158. DOI: 10.2478/v10171-011-0014-7.

10. Ozturk S.B.a., and Toliyat H.A.b. Direct Torque and Indirect flux Control of Brushless DC Motor [Text], 16 (2), art. no. 5438764.-2011, pp. 351 – 360. DOI: 10.1109/TMECH.2010.2043742.

Получено 27.06.2014.

References

1. Vershinin D.V., Vodichev V.A., Voytenko V.A., and Smotrov E.A. Osobenosti vibora parametrov bortovogo istochnika pitaniya elektrotransportnogo sredstva [Features of Choice of Parameters of Side Source of Feed of Electromobile], (2008), *Electromachinobuduvaniya ta Electroobladneniya Publ.*, Kiev, Ukraine, Vol. 71, pp. 5 – 11 (In Russian).

2. Vershinin D.V., Voytenko V.A., and Smotrov E.A. Vznacheniya parametrov osnovnih vuzliv elektrichnoyi shemi elektrobusa [Determination of Parameters of Basic

Knots of the Electric Chart of Electro Bus], (2009), *Electromachinobuduvaniya ta Electroobladneniya Publ.*, Kiev, Ukraine, Vol. 74, pp. 10 – 17 (in Ukrainian).

3. Vershinin D.V., Vodichev V.A., Voytenko V.A., Dashko O.G., and Smotrov E.A. Vznacheniya vimog do energetichnih parametrov elektroprivodu motor-kolis elektrobusa [Determination of Requirements to the Power Parameters of the Electricdrive of Motor-wheels of Electro Bus], (2010), “*Problemi Automatizirovanogo Elektroprivoda. Teoriya i praktika*”. *Visnik Natsionalnogo Tehnichnogo Universitetu “Kharkivskiy politechniy institut” Publ.*, Kharkov, Ukraine, Vol. 28, pp. 303 – 304 (In Ukrainian).

4. Voytenko V.A. K voprosu optimizatsii parametrov kondensatornoy batareyi avtonomnogo istochnika pitaniya [To the Question of Optimization of Parameters of Condenser Battery of Autonomous Source of Energy], (2010), *Electromachinobuduvaniya ta Electroobladneniya Publ.*, Kiev, Ukraine, Vol. 76, pp. 87 – 93 (In Russian).

5. Voytenko V.A., and Vodichev V.A. Optimizatsiya parametrov kondensatomoyi batareyi avtonomnogo dzerela zivleniya elektroprivodu elektromobilia [Optimization of Parameters of Condenser Battery of Autonomous Source of Feed of Electric Drive of Electromobile], (2012), *Electromechanichni i Energozberigayuchi Sistemi. Tematichniy Vipusk “Problemi Automatizovanogo Elektroprivoda. Teoriya i Praktika” Naukovo-Virobnichogo Zurnalu Publ.*, Kremenchuk, Ukraine, Vol. 3/2012 (19), pp. 261 – 263 (In Ukrainian).

6. Kravchik A. E., Shlaf M. M., Afonin V. I., and Sobolenskaya T.A. Assinhroniye dvigateli serii 4A. Spravochnik [Asynchronous Engines of the Series 4A. Reference Book], (1982), Moscow, Russian Federation, *Energoizdat Publ.*, 623 p. (In Russian).

7. Wei H.a., Li P.a, Liu G.b and others. (2010), Commutation Torque Ripple Reduction in Brushless DC Motor Based on Double Current Regulators [Text], *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban), Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 31 (6), pp. 691 – 694 (In English). DOI: 10.3969/j.issn.1671-7775.2010.06. 016.

8. Vitols K., Reinberg N., and Galkin I., (2012), PID Regulator Implementation for Electric Kart DC Motor Current Stabilization [Text], *Elektronika ir Elektrotechnika*, pp. 7 – 10 (In English). DOI: 10.5755/j01.eee.l19.3.1353.

9. Bernat J., and Stepien S., (2011), Application of Optimal Current Driver for the Torque Control of BLDC Motor [Text], *Archives of Electrical Engineering*, 60 (2), pp. 149 – 158 (In English). DOI: 10.2478/v10171-011-0014-7.

10. Ozturk S.B.a, and Toliyat H.A.b. Direct Torque and Indirect Flux Control of Brushless DC Motor [Text], *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 16 (2), art. no. 5438764.-2011, pp. 351 – 360 (In English). DOI: 10.1109/TMECH.2010.2043742



Войтенко
Владимир Андреевич, канд. техн. наук,
доц. каф. электромеханических систем
с компьютерным управлением Одесского
нац. политехн. ун-та,
тел. 048-7-058-467