

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ПОЛЕЗНО ДЕЙСТВИЕ НА АСИНХРОННО ЗАДВИЖВАНЕ С ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ ПРИЛОЖЕНО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛ

Чавдар Джамбазки
eet@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
1574 София, ул. „Гео Милев № 158,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *електромобил, асинхронен двигател, векторно управление, ефективност*

Резюме: *В доклада са представени резултати от експериментално определяне на коефициента на полезно действие на асинхронно задвижване с векторно управление, инсталирано на електромобил.*

ВЪВЕДЕНИЕ

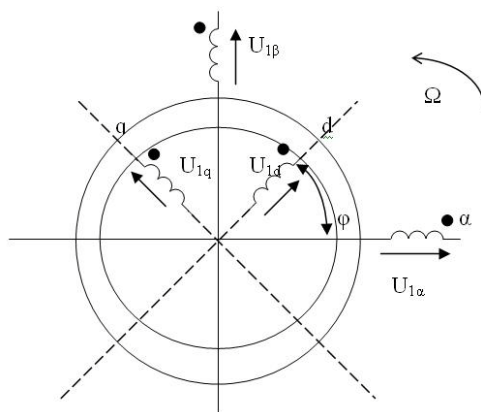
Автомобилът се явява източник на около 200 различни газове и химически съединения, влошаващи екологичното състояние на околната среда. Ръстът на обема на производство и парка на автомобили в света води до увеличаване емисиите отработени газове най-вече в големите градове. Освен това автомобилите се явяват едни от основните потребители на въглеводородно гориво, запасите от нефт за изготвянето на което са ограничени. Ожесточените екологични изисквания към автомобилите съпроводени с повишените цени на въглеводородното гориво активизира работата по създаване на алтернативен вид транспорт в това число на електромобили.

Електромобилите по ред характеристики като запас на хода и товароподемност се приближават към традиционните автомобили, основен недостатък се явява високата им стойност.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За получаване на високо качество на управление на електрозадвижването в статични и динамични режими е необходимо да има възможност за бързо непосредствено управление на момента на двигателя. Моментът на всеки двигател във всеки момент от времето се определя от стойността (амплитудата) и фазата на две моментобразуващи съставляващи: **ток и магнитен поток**. При асинхронният двигател токовете и потокосцепленията на статора и ротора се въртят с еднакви скорости, имат различни изменящи се във времето фазови параметри и не подлежат на непосредствено измерване и управление. Достъпна управляема променлива в асинхронния двигател се явява токът на статора, имащ съставляващи образуващи магнитния поток и момент.

Фазовата ориентация на тези две съставляващи може да бъде осъществена само с външни управляващи устройства, което обуславя термина векторно управление. В структурата на електрозадвижването двигателят се разглежда като електромеханичен преобразувател във вида на идеализирания двигател. Неговият ротор не притежава маса и механическа енергия, няма механични загуби на енергия и е твърдо свързан с реалния физически ротор отнасящ се към механическата част на електрозадвижването. Такъв двигател може да бъде представен с електромеханически многополюсник, съдържащ „ p “ чифта електрически изводи равни на броя на „ p “ намотки и един чифт механически изводи (виж фигура 2). На механическите изводи в резултат на електромеханическото преобразуване на енергията при скорост Ω се развива електромагнитния момент M . Моментът се явява изходна величина на електромеханическия преобразувател и входна за механическата част на електрозадвижването. Скоростта Ω се определя от условията за движение на механическата част, но за електромеханическия преобразувател може да се разглежда като независима променлива. Механическите променливи M и Ω свързват електромеханическия преобразувател с механическата част в една взаимосвързана система. Всички процеси в двигателя се описват със система уравнения за електрическо равновесие (броя уравнения е равен на броя намотки) и уравнение за електромеханично преобразуване на енергията. Затова в теорията на електрозадвижването се използва двуфазния модел на обобщено електрозадвижване (виж фигура 1), към която се привеждат всички видове и типове електрически машини.



Фиг. 1

α, β - неподвижни оси на статора

d, q - въртящи се оси на ротора

φ - ъгъл на завъртане на ротора

Ω - ъглова скорост = $\frac{df}{dt}$

Уравнението за електрическо равновесие на i -та намотка е [1, 2]:

$$(1) \quad U_i = R_i \cdot i_i + \frac{d\psi_i}{dt},$$

където:

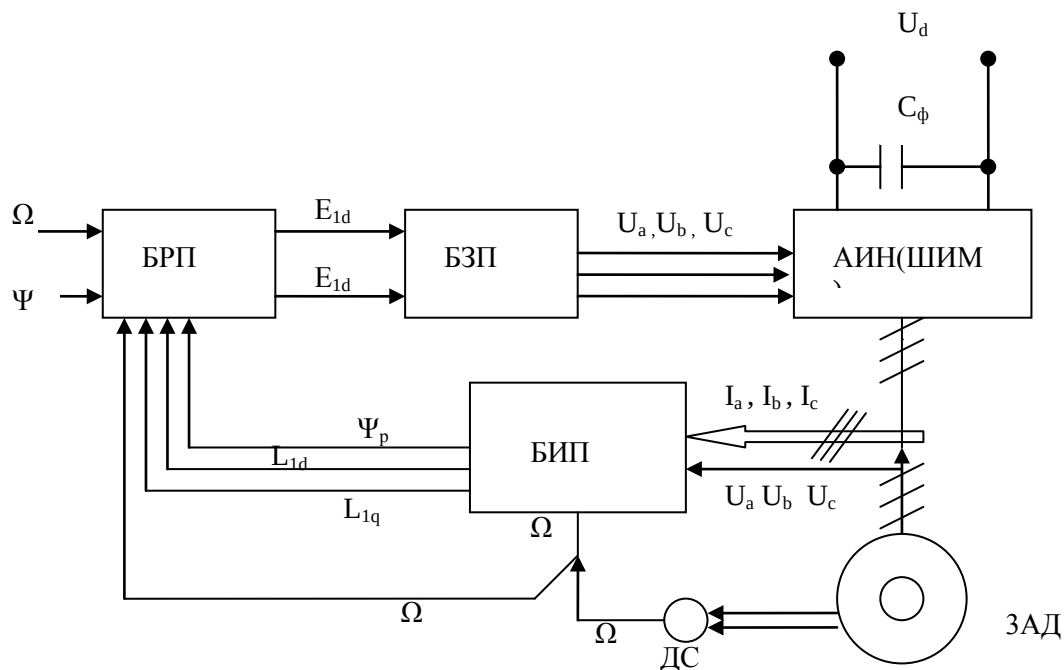
$\psi_i = \sum L_{i,j} \cdot i_j$ - потокосцепление на i -та намотка

$i = 1a, \dots, 2q; j = 1a, \dots, 2q$

R_i - активно съпротивление на намотката

$L_{i,j}$ - собствената и взаимна индуктивност на намотката.

Стойността на взаимната индуктивност зависи от ъгъла θ на завъртане на ротора и от пространственото изместване на намотката, тоест явява се функция на скоростта и времето. Именно затова е невъзможно да получим $\cos \varphi = 1$. Синтеза на алгоритмите и системите на векторното управление на асинхронния двигател се базира на анализа на двуфазен d-q модел на асинхронния двигател (d-q ортогонална координатна система на ротора) [1, 2, 3].



Фиг.2. Схема на векторно управление

Схемата на векторното управление се състои от три основни функционални части:

БРП - блок за регулиране на променливите

БИП - блок за изчисляване на променливите

БЗП - блок за задаване на променливите

На блока за регулиране на променливите постъпват сигнали за скоростта и потока и сигнали за обратна връзка (от изхода на блока за изчисляване на променливите), ориентирани по стойностите на тока на статора, потокосцеплението на ротора и статора. Блока за регулиране на променливите съдържа набор регулатори на потока, момента, тока. На изхода на блока се формират също сигнали ориентирани в областта на зададените съставляващи тока на статора.

Блока за задаване на променливите осъществява фазови и координатни преобразувания задаващи d и q променливите в системата от трифазни сигнали за управление на широчинно-импулсния модулатор на автономния инвертор по напрежение.

Блока за изчисляване на променливите изчислява текущите стойности на амплитудните и фазовите параметри на d и q променливите на асинхронния двигател, осъществява фазови и координатни преобразувания на реалните трифазни сигнали на токовете и напреженията на асинхронния двигател постъпващи от изхода на съответните датчици. Координатните преобразувания, осъществявани от блока за изчисляване на променливите се заключават в преход от реални координати на трифазната система на статора на асинхронния двигател към d и q стойности.

Блока за задаване на променливите осъществява обратни преобразувания от d и q към a, b, c.

Фазовите преобразувания в тези блокове обезпечават привързване на фазовите параметри на променливите в двете координатни системи.

На надеждността, стойността и качеството на характеристиките на електрическото задвижване влияят броя на измерваните параметри и точността на измерването. За векторното управление на асинхронния двигател трябва да се измерят най-малко две от четирите достъпни за измерване променливи.

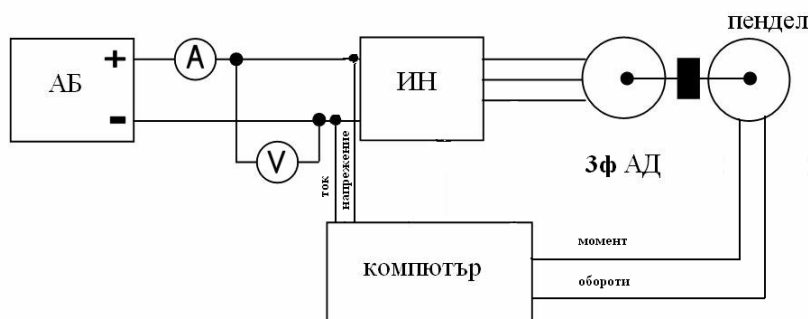
- 1-токовете на статора на асинхронния двигател
- 2- напреженията на изводите на асинхронния двигател
- 3- ъгловата скорост на ротора на асинхронния двигател
- 4-ъгловото положение на ротора на асинхронния двигател

Векторното управление позволява практически във всеки момент от време при всяко положение на ротора относително статора, при всяка ъглова скорост и натоварване на машината да се получи максимален $\cos\varphi$ на асинхронния двигател. Това на свой ред значително повишава к.п.д. и момента, който в дадения случай практически не зависи от ъгловата скорост на двигателя.

Характеристиките на електромобиля и неговата стойност в значителна степен се определят от параметрите на използваната енергетична установка и в частност акумулаторната батерия. Изпитанията са проведени в лаборатория „Електрически машини и преобразуватели” на ВТУ „Тодор Каблешков” - София в периода от 04.2010 г. до 05.2010 г. по блокова схема показана на фиг. 3. Двигателят е куплиран с динамометър (пендел) и натоварван до 145 Nm. Акумулаторната батерия, с която са проведени част от изпитанията е никел кадмиева тип НК-125 (производство 1979 год.). Паралелно на нея бяха включени в определен момент супер кондензатори производство на фирма ЭСМА Русия. Изпитанието е посветено на разработка на модел на движение на електромобил и изследване на нестандартните режими на работа на акумулаторната батерия на електромобиля, което е много актуално сега. На стенда изпитваме трифазен асинхронен двигател със следните данни:

Номинално напрежение -	48 V
Номинална мощност -	16 kW
Честота на захранващото напрежение -	0 - 100 Hz
Обороти -	2900 min ⁻¹

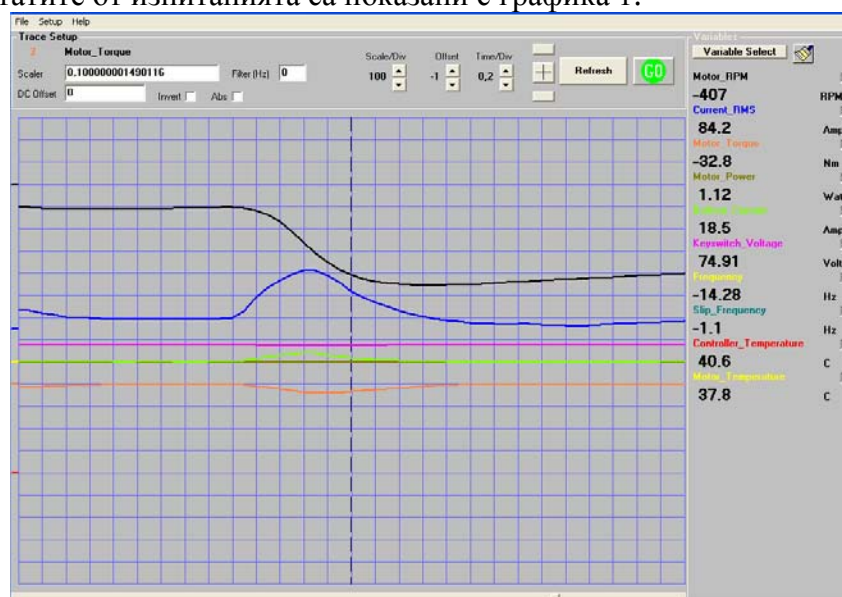
При измерванията използваме следната схема и израз.



Фиг. 3. Схема на опитната установка

$$(2) \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M \cdot 0,1 \cdot n}{U \cdot I}$$

Резултатите от изпитанията са показани с графика 1.

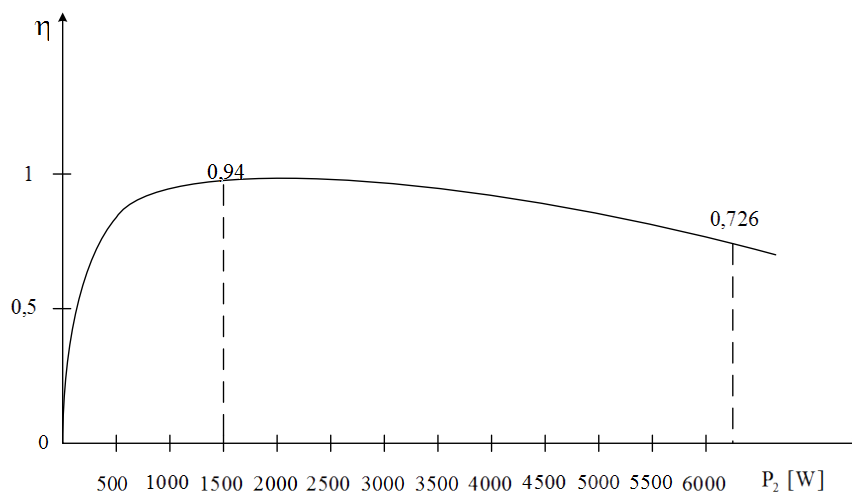


Графика 1

Таблица 1

Данни от измерванията (извадка)

Motor RPM	Motor Torque	Motor Power	Battery Current	Keyswitch Voltage
RPM	Nm	Watt	Amp	Volt
0	-3,2	0	9,2	74,67
-9	-9,1	0	16,2	74,44
-44	-16,2	0,02	16,1	74,44
-75	-19,6	0,07	9,9	74,67
-92	-18,4	0,09	4,9	74,79
-99	-14,9	0,09	3,6	74,91
-105	-12,6	0,09	2,9	74,91
-108	-10,5	0,08	2,4	74,91
-108	-8,8	0,07	2,4	74,91
-109	-7,4	0,06	2,1	74,91
-110	-6,2	0,06	1,9	74,91
-110	-5,4	0,05	1,9	74,91
-110	-4,4	0,04	1,9	74,91
-109	-4	0,04	1,9	74,91
-107	-3,7	0,04	1,8	74,91
-108	-4,2	0,04	4,7	74,79
-114	-6,8	0,07	10,2	74,56
-131	-11,3	0,13	16,2	74,32
-153	-17,8	0,23	23,2	73,97
-189	-25,2	0,39	30,2	73,5
-235	-32,3	0,59	37,1	73,15
-284	-40,1	0,92	40,7	72,91
-332	-41,8	1,11	33,7	73,15
-368	-40,4	1,19	27,9	73,38
-397	-36,9	1,2	21,9	73,62



Фиг. 4. Диаграма на к.п.д. на електрозадвигването във функция от изходящата мощност

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Избраното векторно управление на асинхронния двигател е най-съвършено от постигнатата практика в тази област. Векторното управление позволява най-пълно да се използват възможностите на двигателя, като едновременно се постигат високи енергийни показатели от комплексното задвижване.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] И. Евтимов, Р. Иванов, Електромобили, Русенски университет, 2011 г.
- [2] Венелин Яков, Автоматизирано електрозадвигване, Русенски университет 2012 г.
- [3] К. Л. Богданов. Тяговый электропривод автомобиля, Москва, 2009.
- [4] Миленов И. К. и кол. Електромобилът – продукт на високите технологии, НДЕТ, София, 2010 г.
- [5] Иванов Р., Ив. Евтимов, Г. Кадикянов, Д. Зафиров, Д. Гунев. Експериментален електромобил, Варна, Сб. доклади на НТК „Транспорт и екология – устойчиво развитие”, 2010 г.
- [6] Щетин В. А. и др., Електромобили, издателство „Машиностроение”, Ленинград, 1987 г.
- [7] Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies WulTrans – 2009 – Proceedings, September 24-26, 2009 Sozopol, Bulgaria