

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПУСКАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С НАВИТ РОТОР КАТО МАШИНА С ДВОЙНО ЗАХРАНВАНЕ ПРИ ДОСТИГАНЕ НА ДВОЙНАТА СИНХРОННА СКОРОСТ НА ВЪРТЕНЕ

Ангел Зъбчев, Мила Илиева, Венко Войводов, Петър Петров, Ромео Александров

Минно-Геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: elektrotehnika@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В настоящия доклад са описани особеностите при пускане на асинхронен двигател с навит ротор като машина с двойно захранване, особеностите при задаване на параметрите на двигателя в настройките на честотния преобразувател и характеристиките на двигателя при схема за достигане на двойната синхронна скорост.

SPECIFICS IN START AND INVESTIGATION THE CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS MOTOR WITH WOUND ROTOR IN MODE OF DOUBLY FED INDUCTION MACHINE REACHING DOUBLE SYNCHRONOUS SPEED

Angel Zabchev, Mila Ilieva, Venko Voyvodov, Petar Petrov, Romeo Aleksandrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: elektrotehnika@mgu.bg

ABSTRACT. This report describes the specific start of asynchronous motor with wound rotor in mode of doubly fed machine, the specifics of parameterization engine settings of the inverter and the characteristics of the engine to achieve the dual synchronous speed.

Въведение

През последните десетилетия, благодарение на развитието на силовата електроника и микропроцесорната техника, в електрозадвижванията се наблюдава ръст в приложението на системата честотен преобразувател-двигател. Една от възможностите за приложение на тази система е използването на променливотокова електрическа машина с двойно захранване. На практика тази електрическа машина не се различава конструктивно от асинхронната машина с навит ротор. При едновременното подаване на променливо напрежение в статора и ротора в двигателен режим може да се регулира скоростта на въртене в зависимост от разликата в честотата на двете напрежения. (Зъбчев и др. 2015) Едното от захранващите напрежения обикновено е мрежовото т.е. с константна честота, а другото се подава от честотен преобразувател. Ако честотата на напрежението от честотния преобразувател се изменя от нула до номиналната честота на мрежовото напрежение, при еднаква последователност на фазовия ред на статорните и роторните намотки регулирането е от нулева до синхронна скорост на въртене, а при обратна последователност на фазовия ред се достига до двойната синхронна скорост.

Съвременните честотни преобразуватели дават възможност за по-добър анализ на енергийните показатели и характеристики на задвижванията за различните режими на работа, поради допълнителните информационно измервателни свойтва заложени в тях.

Експериментални изследвания

В лабораторни условия е реализиран стенд за изследване асинхронен двигател с навит ротор, като машина с двойно захранване. Към асинхронния двигател с навит ротор е куплирана постояннотокова машина. Направен е експеримент при който статорът на променливотоковата машина се захранва от трифазен честотен преобразувател Emotron FDU 2.0, 11KW, 400V, а роторът посредством трифазен автотрансформатор от мрежата (фиг.1). Честотният преобразувател има възможност за промяна на фазовия ред на изходното си трифазно напрежение произтичаща от функцията му за реверсиране. По този начин, при прав фазов ред, честотата може да се изменя плавно от 50Hz до 0 и отново до 50Hz в обратен фазов ред. Така съответно се осъществява регулиране на скоростта на въртене от нула до синхронна и до двойната синхронна скорост.

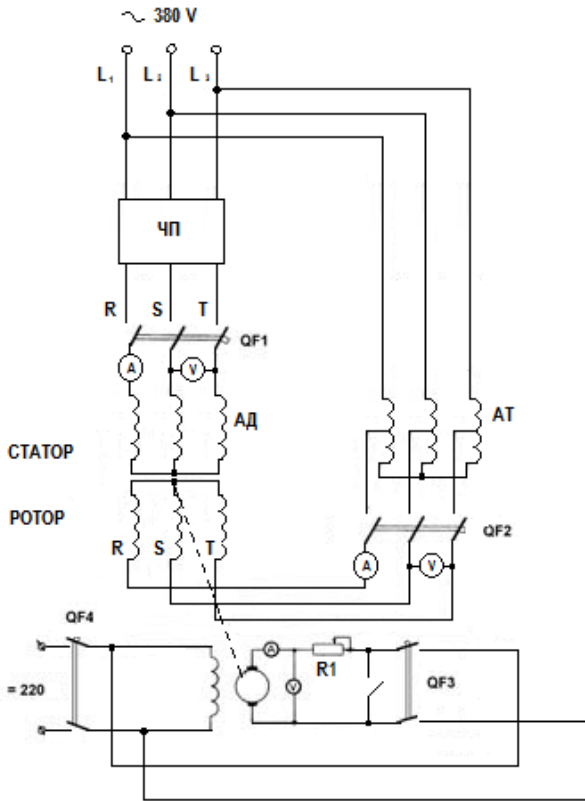
Данните за асинхронния двигател с навит ротор са следните:

- тип МТ 11/6;
- P 2,2 KW;
- статор U 380 / 220 V ; I 7,2 / 12,4 A;
- ротор U 135 V ; I 12,8 A;
- n 885 min⁻¹;
- cosφ 0,72.

Данните за постояннотоковата машина са:

- тип П-51;
- U 220 V ; I 33,3 A;
- n 1500 min⁻¹;
- 81,5%.

В таблица 1 са показани опитно измерените токове при спрял двигател, т.е. и статорния I_s и роторния ток I_r на машината с двойно захранване са с еднакви честоти, равни на 50Hz. В същото време на вала на машината се създава въртящ момент посредством двигателя за постоянен ток. Котвеният ток I_A на постояннотоковата машина е пропорционален на момента. Регулирането му се осъществява чрез реостати условно означени с R1 (фиг.1). QF3 и QF4 са включени, а контактът QF5 между полюсите на QF3 е отворен.



Фиг.1 Схема на експерименталната постановка

Таблица 1.
Токове на куплираната група машини при $n=0$ об/мин.

номер	I_s, A	I_r, A	I_A, A
1	0,9	7,9	2
2	2,4	7,6	4
3	2,9	8	6
4	3,8	9	8
5	4,4	9,8	10
6	5,1	11	12
7	5,6	12,6	14

В таблица 1 са показани опитно измерените токове при спрял двигател, т.е. и статорния и роторния ток на машината с двойно захранване са с еднакви честоти, равни на 50Hz. В същото време на вала на машината се създава въртящ момент посредством двигателя за постоянен ток. Регулирането му се осъществява чрез реостати условно означени с R1. QF3 и QF4 са включени, а контактът QF5 между полюсите на QF3 е отворен (фиг.1).

Спираният момент на променливотоковата машина не позволява на постояннотоковия двигател да се завърти.

По време на опита се спазва условието, индуктираното от статора електродвижещо напрежение в ротора да е равно на напрежението, което се подава от автотрансформатора за захранване на роторната верига.

Вторият опитен експеримент е направен при обратен фазов ред на статорната и роторната вериги. При промяна на честотата на напрежението в статорната верига, се достига двойната синхронна скорост на въртене при честота 50Hz. Честотата на въртене на ротора отговаря на зависимостта,

$$n_r = \frac{60(f_1 \pm f_2)}{p}, \text{ min}^{-1}, \quad (1)$$

където f_1 е честотата на захранващото напрежение на статора, а f_2 честотата на захранващото ротора напрежение.

Положителният знак в уравнение (1) важи за обратен фазов ред на статорната и роторната вериги.

Ако се сравни реда на синхронните честоти на въртене на асинхронните двигатели според броя на чифтовете полюси до $p=4$ с постиганите от машините с двойно захранване се вижда, че при машините с двойно захранване има две скорости – 2000 и 6000 об/мин, които липсват от реда при асинхронните двигатели. (Таблица 2) Също така се забелязва, че двигател с 2 броя чифтове полюси може да се върти със синхронната скорост на двигател с един чифт полюси, а двигател с 4 броя чифтове полюси със синхронната на двигател с два чифта. Числата в скоби в таблица 2 се отнасят за машините с двойно захранване при обратен фазов ред на статорната и роторната вериги.

Таблица 2.
Ред на синхронните честоти на въртене при двигател с двойно захранване $f_1 = 0$; $f_2 = 50\text{Hz}$ и $f_1 = f_2 = 50\text{Hz}$ за съответен брой чифтове полюси

$n_s, \text{ min}^{-1}$	3000 (6000)	1500 (3000)	1000 (2000)	750 (1500)
p	1	2	3	4

Пускането на двигателя с двойно захранване при обратен фазов ред е съпроводено с някои особености свързани с динамиката на задвижването. Известно е, че електромагнитни моменти със средна стойност различна от нула се създават само от магнитно поле и ток с едни и същи честоти, като стойността му зависи освен от стойностите на магнитната индукция и тока, но и от ъгъла на дефазирание между тях. Ако за опростяване пренебрегнем несинусоидалният характер на магнитната индукция и тока, и приемем, че честотата на пространствения ток в ротора се определя от механичната честота на въртене и честотата на захранващото напрежение, а магнитния поток се определя само от статорната намотка и се задава чрез честотния инвертор. То тогава може да се каже, че изменението на честотата на инвертора трябва да се определя в зависимост от ускорението на ротора. Без прилагането на специална следяща система за спазването на това условие с достатъчна точност, за успешното пускане на двигателя, опитно се подбира времето на рампа на

честотата от честотния инвертор. Освен това двигателят е оставен не натоварен.

По време на експеримента се установи, че при подадено напрежение на ротора (50Hz) и включване на преобразувателя с обратна фазова последователност от 0 до 50Hz, двигателят тръгва асинхронно и почти веднага влиза в синхронизъм и започва да се ускорява над 1000об/мин. При зададено време 120s за нарастване на честотата от 0 до 50Hz проблем възниква при честоти в диапазона 15 – 20Hz, където започва силно прогресиращо механично колебание във въртенето на вала на машината. Съответно се наблюдават и колебания в токовете статора и ротора верига. По нататъшното развъртане на машината не може да се осъществи поради разликата в честотите на величините отговарящи за създаването на електромагнитен момент. При намаляване на времето за нарастване на честотата от 0 до 50Hz на 30 сек. двигателят достига двойна синхронна скорост.

В установен режим са направени опити при следните зададени честоти на преобразувателя – 10; 20; 30; 40 и 50Hz, двигателят работи съответно с 1200; 1400; 1600; 1800 и 2000об/мин. При достатъчно дълго време за работа на двигателя не се наблюдаваха никакви колебания при различни натоварвания.

В таблица 2 са показани опитно измерените токове на статора и ротора на двигателя с двойно захранване при подаване на напрежение на статора с честота 10Hz. Честотата на въртене е 1200 об/мин в същото време на вала на двигателя се създава съпротивителен въртящ момент посредством постояннотоковата машина работеща в режим на генератор с независимо възбуждане. Регулирането съпротивителния момент и тук също се осъществява чрез R1. Затвореният QF4 подава постоянно напрежение за възбуждане от външен източник, QF3 е отворен, а контактът QF5, между полюсите на QF3 е затворен. С U_A в таблица 2 е означено напрежението на котвата на двигателя в V, останалите са токовете, както в таблица 1.

Данните показани в таблица 3 са аналогични на тези в таблица 2, но при подаване на напрежение на статора с честота 50Hz, съответно честотата на въртене е 2000об/мин.

Таблица 2.

Опитни данни смети при $n=1200$ об/мин.

$f_i=10\text{Hz}$				
номер	I_s, A	I_r, A	I_A, A	U_A, V
1	1	6,0	0	126
2	2,2	6,2	2	123
3	3,1	6,7	4	123
4	3,4	8,6	6	123
5	3,9	11,5	8	122
6	4,9	15	10	122

Таблица 3.

Опитни данни смети при $n=2000$ об/мин.

$f_i=50\text{Hz}$				
номер	I_s, A	I_r, A	I_A, A	U_A, V
1	5,5	2,7	0	295
2	5,7	3,8	2	292
3	5,9	5,8	4	290
4	6,1	7,3	6	289
5	6,5	9,2	8	287
6	6,9	11,2	10	285

Заклучение

При направените опитни експерименти се доказва работоспособността на система за електрозадвигване състояща се от честотен преобразувател и променливотокова машина с двойно захранване в установен режим. На базата на получените резултати може да се избере инвертор отговарящ на изискванията на задвигването. Установена е приложимостта на системата за електрозадвигване от този тип в областта на надсинхронна скорост в сравнение с класическото използване на асинхронния двигател с навит ротор.

Литература

Зъбчев, А., Александров, Р., Петров, П., Войводов В., "Изследване на работните режими на променливотокова електрическа машина с двойно захранване". ISSN 1312-1820 Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски" том 57 свитък III, София, 2014, стр. 100 - 103.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Електротехника“.