

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТНИТЕ РЕЖИМИ НА ПРОМЕНЛИВОТОКОВА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МАШИНА С ДВОЙНО ЗАХРАНВАНЕ

**Ангел Зъбчев, Ромео Александров, Петър Петров, Венко Войводов**

Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски“, 1700 София, [elektrotehnika@mgu.bg](mailto:elektrotehnika@mgu.bg)

**РЕЗЮМЕ.** Върху лабораторна постановка, състояща се от куплирани асинхронен двигател с навит ротор и постояннотокова машина, са експериментирани различни режими на работа. Опитите са направени при захранване на статора, на ротора и двустранно. Осъществено е регулиране на скоростта на въртене на асинхронния двигател чрез захранване на статора от мрежата и на ротора от инвертор. Снети са характеристики на системата и са определени основните параметри за избор на инвертор за захранване на ротора с променлива честота.

### RESEARCHING OF OPERATING MODES OF DOUBLY FED AC ELECTRIC MACHINE

**Angel Zabchev, Romeo Aleksandrov, Petar Petrov, Venko Voivodov**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: [elktrotehnika@mgu.bg](mailto:elktrotehnika@mgu.bg)

**ABSTRACT.** On laboratory setup consisting of coupled induction motor with wound rotor and DC machines have been tested different modes. Attempts were made in the power of the stator, the rotor and bilaterally. Powered is controlling the speed of rotation of the asynchronous motor by feeding the stator from the grid and the rotor of the inverter. Taken are characteristics of the system and determine the main parameters for selecting the inverter to power the rotor with variable frequency.

### Увод

Развитието на микропроцесорната техника и силовата електроника доведе до раздвижване в приложението на така наречените машини с двойно захранване. На практика този вид 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 честотите на двете напрежения. При тези условия двигателят вече не е асинхронен, по-скоро съответства на синхронен. Един от често използваните варианти за реализиране на машина с двойно захранване е показан на фиг. 3. При него статорът е присъединен към захранващата мрежа с номинални за машината напрежение и честота, а роторът е свързан към регулируем честотен преобразувател. При изменение на честотата и съответно напрежението на изхода на честотния преобразувател се постига регулиране на скоростта на въртене в широки граници. В зависимост от поредността на фазите на двете напрежения това може да става под и над синхронната честота на въртене. Традиционно под синхронна честота на въртене се разбира честотата на въртене на полето, определена от честотата на мрежовото напрежение. В последно време машината с двойно захранване е намерила приложение в областта на добива на енергия от вятърни турбини. Това е обосновано от способността на машината да работи в генераторен режим като произвежда електроенергия с

определени качествени показатели при непостоянни обороти на вала.

По отношение на минната промишленост интерес представляват всички режими на работа на машината. Този тип задвижване може да се прилага при руднични подземни уредби, където електрическата машина трябва да има възможност да работи в двигателен режим и режими на рекоперативно и динамично спиране. Освен това може да се прилага за задвижване на вентилатори за главно руднично проветряване.

### Описание на проведените опити

За провеждане на експерименталните изследвания се използват две куплирани машини: изследваната - променливо-токова и товарната - постоянно-токова.

Данни за електрическите машини.

Асинхронен двигател (АД) с навит ротор тип МТ1 12-6.

$$P_n = 5 \text{ kW}$$

$$n_{\min} = 930 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{\max} = 2590 \text{ min}^{-1}$$

$$U_{\text{стат.}} = 380 / 220 \text{ V}$$

$$I_{\text{стат.}} = 13,3 / 23 \text{ A}$$

$$U_{\text{рот.}} = 208 \text{ V}$$

$$I_{\text{рот.}} = 16,5 \text{ A}$$

Постоянно-токова машина със смесено възбуждане тип П-52.

$$P_n = 4,5 \text{ kW}$$

$$I_n = 50,3 \text{ A}$$

$$U_n = 110 \text{ V}$$

$$n_n = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{\text{max}} = 2000 \text{ min}^{-1}$$

### Първи опит:

Първоначално се захранва статорът с понижено напрежение (230V) с мрежова честота, а роторът се оставя отворен. Роторът не се върти, липсва момент и ъглова скорост. С помощта на указател на поредността на фазите се определят изводите на ротора, които съответстват на тези на статора. При схемата на фиг. 1 данните за напреженията на статора, ротора и входната мощност са следните:

$$U_{RT} = 232 \text{ V (статор)}$$

$$U_{RS} = 128 \text{ V (ротор)}$$

$$P = 50 \text{ W}$$

При предварително определена права последователност на фазите и подадено напрежение на статора се затваря роторът накъсо. Валът на машината се върти в положителна посока. Данните за входната мощност, обороти и ток на ротора са следните:

$$P = 60 \text{ W}$$

$$n = 995 \text{ min}^{-1}$$

$$I_{\text{рот.}} = 0,7 \text{ A}$$

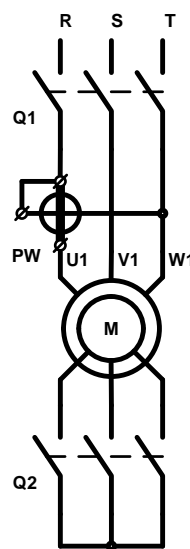
Първоначално товарната машина работи на празен ход, след това се натоварва. Нейната електрическа мощност се определя чрез товарен реостат при номинално възбуждане. Данни при натоварвания от 10 до 25A са дадени в таблица 1.

Таблица 1

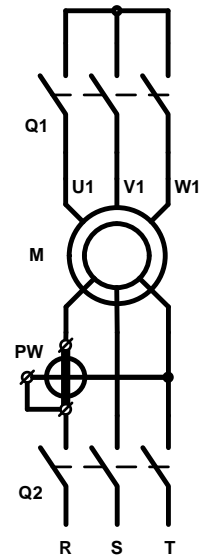
АД захранен в статора				
И ген. А	10	15	20	25
U ген. V	98	92	88	84
P дв. W	470	650	850	1170
I рот. А	6.8	8.8	12	15
I стат. А	5.9	7.1	8.5	10.3
n min-1	945	920	900	865

### Втори опит:

Роторът на машината се захранва с понижено напрежение при права последователност на фазите, съответстваща на последователността на статорните изводи (фиг. 2). Статорът е отворен. Напрежението на ротора се регулира чрез автотрансформатор, така че индуцираното в статора напрежение да стане равно на 230V. В този момент роторът не се върти. Данните са следните:



Фиг. 1



Фиг. 2

$$U_{RT} = 232 \text{ V (статор)}$$

$$U_{RS} = 142 \text{ V (ротор)}$$

$$P = 710 \text{ W}$$

$$P_T = 660 \text{ W}$$

$$I_R = 3 \text{ A}$$

$$I_S = 8,3 \text{ A}$$

$$I_T = 8,8 \text{ A}$$

Затваря се статорът накъсо. Валът на машината се завърта в отрицателна посока, обратна на тази при захранване на статора. Данни при натоварвания 10A, 15A, 20A, 25A са дадени в таблица 2.

Таблица 2

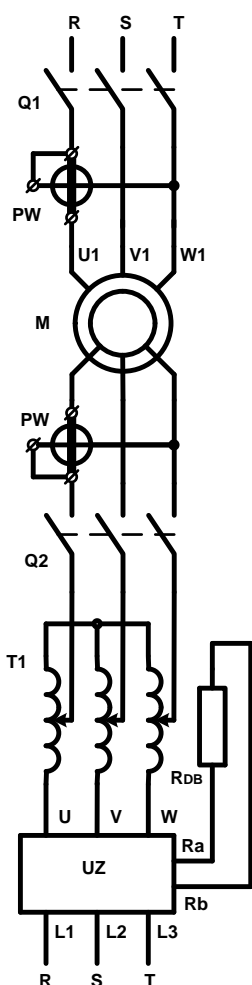
АД захранен в ротора				
И ген. А	10	15	20	25
U ген. V	100	98	94	86
P дв. W	470	650	850	1170
I рот. А	6.8	8.8	12	15
I стат. А	5.9	7.1	8.5	10.3
n min-1	945	920	900	865

### Трети опит - Двойно захранване:

Статорът се захранва от мрежата с понижено напрежение (230V), а роторът - през трифазен автотрансформатор от трифазен инвертор на напрежение (честотен преобразувател). И двете напрежения са с права последователност, приложени върху едноименните изводи на статора и ротора. Схемата е показана на фиг. 3. Опитът е направен при честоти на инвертора 50Hz, 40Hz, 30Hz, 20Hz и 10Hz.

Установена е следната последователност на включване на напреженията. Инверторът, с който се работи, е предназначен за управление на АД през статора и при включване неговата честота е нула, като започва да се повишава по зададена рампа. В нашия случай се изисква началната честота, при която машината не се върти, да бъде 50Hz. Затова инверторът се включва на празен ход

до достигане на честота 50Hz. След това през автотрансформатор той се включва към ротора на двигателя при отворен статор. Напрежението се настройва от автотрансформатора, така че индуцираното в статора напрежение да е равно на захранващото понижено напрежение с мрежова честота.



Фиг. 3

Чрез прекъсвач прекъсваме напрежението към ротора и подаваме захранване на статора от мрежата. След това се затваря прекъсвачът Q2 и се захранва роторът от инвертора. Машината работи с двойно захранване – от мрежата към статора и от инвертора към ротора.

#### А) Работа на АД при честота на инвертора 50Hz

Роторът застава неподвижно в три устойчиви положения, отговарящи на трите чифта полюси на тази машина. Причина за това е, че двете въртящи се магнитни полета на статора и на ротора са в синхрон и са неподвижни едно спрямо друго. Устойчивото положение се получава, когато съответните полюси на фазите на статора и ротора застанат един срещу друг. Всяко принудително механично изместване на тези положения създава значителен съпротивителен момент и съответно увеличаване на тока. Наблюдава се пълзене (въртене с много ниска ъглова скорост) на ротора поради това, че честотата на инвертора не е точно равна на мрежовата.

#### В) Работа на АД при честота на инвертора 40Hz (Таблица 3)

Тази честота се достига при плавно намаляване на честотата на инвертора от 50Hz до 40Hz. Двигателят се развърта плавно от 0 до 200 об/мин.

$$n = \frac{f_1 - f_2}{p} \times 60 = \frac{50 - 40}{3} \times 60 = 200 \text{ min}^{-1}$$

$f_1$  - мрежова честота на статора

$f_2$  - честота на инвертора към ротора

$$f_2 = 40 \text{ Hz}$$

$$U_{л.рот.} = 140 \text{ V}$$

$$n = 200 \text{ min}^{-1}$$

Таблица 3

Р ген.W	38	72	105	136	160	186
Р стат.W	228	600	900	1080	1200	1500
Р рот. W	192	300	480	600	720	900
U rdb V	0	25	40	69	75	100

#### С) Работа на АД при честота на инвертора 30Hz (Таблица 4)

По подобен начин честотата на инвертора се понижава плавно от 50Hz до 30Hz. Двигателят се върти със скорост 400 об/мин. След установяване на скоростта двигателят се изследва при празен ход и натоварване. Данните са показани в таблицата за 30Hz.

$$f_2 = 30 \text{ Hz}$$

$$U_{л.рот.} = 82 \text{ V}$$

$$n = 400 \text{ min}^{-1}$$

Таблица 4

Рген.W	154	228	296	365	432	518
Рстат.W	600	900	1080	1320	1560	1740
Ррот. W	180	300	-360	-480	-540	660
U rdb V	0	5	25	40	50	60

Подобно изследване е направено при честота 20Hz, където оборотите са 600 об/мин (Таблица 5), и при 10Hz, където оборотите са 800 об/мин (Таблица 6).

$$f_2 = 20 \text{ Hz}$$

$$U_{л.рот.} = 56 \text{ V}$$

$$n = 600 \text{ min}^{-1}$$

Таблица 5

Рген.W	345	456	560	672	777	880	981
Рстат.W	900	1080	1320	1500	1800	1980	2280
Ррот.W	120	180	240	300	360	360	420
U rdb V	0	0	0	0	2	10	20

$$f_2 = 10\text{Hz}$$

$$U_{л.ром.} = 26\text{V}$$

$$n = 800\text{ min}^{-1}$$

Таблица 6

Рген.W		704	880	1056	1232	1760	2610
Рстат.W	180	1200	1440	1620	1800	2400	3840
Рот.W	180	120	120	60	60	60	180
Uрст V	31			26			20
Urdb V							

В данните интерес представлява фактът, че при пониски обороти на въртене потокът на енергия с натоварване на двигателя е от статора към ротора. Това се вижда от стойностите на напрежението върху резистора  $R_{\text{ДВ}}$ .

### Заклучение

Основните начини на свързване на АД и данните, получени от описаните опити, потвърждават, че скоростта

на двигателя може плавно да се регулира при захранване на статора с мрежово напрежение и на ротора - от инвертор.

На базата на получените стойности за токовете, напреженията и мощностите за този двигател трябва да се избере инвертор, програмиран за захранване на ротора. Такъв начин на управление е подходящ за АД за високо напрежение, тъй като може да се управлява с инвертор за ниско напрежение през ротора.

### Литература

- Онищенко Г. Б. 1967, *Асинхронный вентильный каскад*, М. Энергия, стр. 8, 31.  
 Онищенко Г. Б. 1979, *Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания*, М. Энергия, стр.15, 52.

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