

ИЗМЕРВАНЕ ТЕМПЕРАТУРАТА НА РОТОРА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ ПО ИЗМЕНЕНИЕТО НА ХЛЪЗГАНЕТО НА РОТОРА

Динко Господинов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: emp@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Показана е принципната възможност за разработването на температурна защита на ротора на асинхронен двигател с късо съединен ротор.

MEASURING THE TEMPERATURE OF ROTOR ON ASYNCHRONOUS MOTOR VARIANCE ON THE ROTOR SLIP

Dinko Gospodinov

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

ABSTRACT. Shown is the theoretical possibility of developing thermal protection of rotor of asynchronous motor with short-circuited rotor.

Въведение: Поради някои свои предимства пред другите видове електродвигатели, асинхронните двигатели с късо съединен ротор (АД с к.с.р.) във взриво защитено изпълнение се явяват основен вид двигатели за променлив ток, които се използват за задвижване на всички добивни, транспортни и спомагателни машини и уредби при подземния добив на въглища.

Към предимствата на АД с к.с.р. следва да се посочат простата им конструкция, висока надеждност в експлоатация, отсъствието на колектор с контактни пръстени. Заедно с това следва да се посочи, че АД имат някои съществени недостатъци: квадратична зависимост между момента и напрежението на захранващата мрежа, висока чувствителност към качеството на електрическата енергия (несиметрия, несинусоидалност и отклонение на захранващото напрежение), голям пусков ток, което изисква задължително наличие на запас по мощност на захранващия източник и използването на специални методи за пускане, с цел ограничаване на пусковия ток. Един обобщаващ показател за недостатъците на АД с к.с.р. е свързан с резултатите от тяхната експлоатация, а именно – високият процент на повредени и отказали двигатели, който за условията на подземните рудници за механизирани добив на въглища (рудник „Бабино“) достигат до 25% от общия брой на АД, намиращи се в експлоатация.

Резултатите от редица изследвания, проведени за изучаване и определяне на причините за повреди и откази на АД с к.с.р. [2,3,4] показват, че над 50% от възникналите повреди са в резултат на някои съществени недостатъци в използваните апарати за защита.

Към основните фактори, които се явяват причина за възникването на повреди и откази в АД с к.с.р. за

условията на подземните въглищни рудници следва да се отнесът

- Влошени показатели за качеството на електрическата енергия (отклонение, несиметрия и несинусоидалност на захранващото напрежение);
- Неблагоприятни климатични и експлоатационни условия за работа: висока влага, повишена температура, висока запрашеност на рудничния въздух, влошени условия за вентилация и др.;
- Неизправности в системата за охлаждане на машината;
- Незадоволителна центровка и влошени експлоатационни условия на работа;
- Използваните тиристорни преобразуватели на честота се явяват източници на висши хармоници на тока, което допълнително нагряват АД с к.с.р.;
- Нарушаване правилата на техническата експлоатация (чести технологични претоварвания, чести пускания и др.).

Всички аномални режими на работа на АД водят до нарастване на температурата на техните намотки и до съкращаването на срока за тяхната експлоатация. Повишаване на температурата на двигателя над допустимата стойност се явява причина за стареене на изолацията на намотките на статора, способства за появата на такива откази, като междофазно късосъединение, междувиткови съединения. Аварийните режими водят до разтопяването на роторната намотка и до повреди в стоманата на магнитопровода на статора и ротора.

За условията на подземните въглищни рудници трябва да се посочи, че защитата от аварийни и аномални режими на работа на АД с к.с.р. се осъществява преди всичко от

рудничните пускатели в РВ – изпълнение, в който са монтирани блокове с различни функции за управление, контрол и защита. Независимо на различията в схемите и конструктивни решения, техният принцип на работа се основава на измерване силата на тока на АД, преобразуване на този ток и контрол на напрежение на RC-вериги, пропорционално на силата на тока.

Схемното измерване и подаването на сигнал за изключването на претоварен АД при използването на принципи за работа на апаратите за защита не осигурява висока точност. Този факт се дължи на обстоятелството, че при защита от технологично претоварване на АД в границите на 5–20% е необходимо да се използва закъснение по време, което достига до десетки минути.

В последните години се разработват и внедряват редица защити на АД, базирани се на използването на микропроцесорната техника. Опитът от реализирани разработки за условията на подземните въглищни рудници и получените резултати са твърде скромни.

Всичко това определя актуалността на задачата за разработването на ефективни защити за АД за условията на подземни въглищни рудници: всестранен анализ на възможните аномални и аварийни режими на работа на АД, техните последици за защитавания обект и на основата на получената обективна изходна информация да се разработят алгоритми за работа на апаратите за защита, осигуряващи ефективна защита на АД за тези режими в пълен обем.

В доклада е обоснована възможност за реализирането на топлинна защита на ротора на АД чрез измерване хлъзгането на ротора.

Метод за измерване температурата на ротора на асинхронни двигатели

В асинхронни двигатели с късосъединен ротор изменението на активното съпротивление на намотките на ротора е възможно да се определи по изменението на загубите, а също така и по изменението на тока в намотките или е.д.с. на ротора, което в най-общия се изразява в изменение на хлъзгането на ротора спрямо въртящото се магнитно поле. По такъв начин косвенно се измерват електрически или механически величини, които се проявяват на страната на неподвижните части на електрическата машина.

Един от методите [1], използващ ефекта от изменението на електрическите и механичните параметри на асинхронен двигател с късосъединен роторот величината на активното съпротивление на намотката на ротора, се основавайки се на формулата

$$r_p = \frac{3E_p^2}{P_p} \quad (1)$$

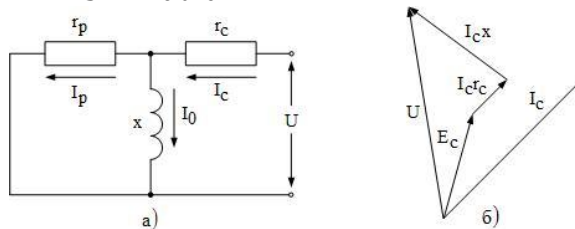
където r_p – активно съпротивление на роторната намотка;
 E_p – е.д.с., индуцирана в намотката на ротора;
 P_p – загуба в медта на ротора.

Между е.д.с. на ротора E_p и е.д.с. на статора E_c за асинхронни двигатели с к.с.р. е в сила зависимостта

$$k \cdot E_p = E_c \cdot S$$

където k – коефициент за привеждане параметрите на ротора към параметрите на статора в заместващата електрическа схема, показана на фиг. 1а;

S – хлъзгане.



Фиг.1 Заместваща схема (а) и векторна диаграма (б) на асинхронен двигател

От векторната диаграма на фиг.1б следва, че ако са известни данните, достъпни за измерване на клемите на статора на двигателя е възможно да се определи квадрата на е.д.с. на статора по зависимостта

$$E_c^2 = U^2 - 2 \cdot U \cdot I_c \cdot (r_c \cdot \cos \varphi + x_c \cdot \sin \varphi) + I_c^2 \cdot (r_c^2 + x_c^2) \quad (2)$$

където U – напрежение на клемите на статора;

I_c – ток в статорната намотка;

x – общо съпротивление на разсейване на намотките на статора и ротора;

x_c – индуктивно съпротивление на статорната намотка.

Ако са известни посочените по-горе величини, за измерване на хлъзгането на ротора при изменението на момента на вала е възможно да се запише в следната зависимост между отношението на хлъзгането в студено и топло състояние на роторната намотка и отношението на загубите в медта на ротора при студено състояние и при повишена температура на намотките

$$\frac{r_{p,x}}{E_{c,x}^2} \cdot \frac{E_{c,r}^2}{r_{p,r}} = \frac{S_x}{S_r} \quad (3)$$

При измерване на хлъзгането е задължително изпълнението на условието за постоянство на загубите в медта на ротора

$$\frac{r_{p,r}}{r_{p,x}} = \frac{E_{c,r}^2}{E_{c,x}^2} \cdot \frac{S_r \cdot (1 - S_x)}{S_x \cdot (1 - S_r)} \quad (4)$$

а търсената температура на намотките на ротора е възможно да се определи с израза

$$\vartheta_{p,r} = \left(\frac{r_{p,r}}{r_{p,x}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\alpha} + \vartheta_{p,x} \quad (5)$$

където α – температурен коефициент на съпротивление за метал, от който е изготвена намотката на ротора;

$\vartheta_{p,x}$ – температура на намотката на ротора в началния момент на измерване, в студено състояние.

За температура на намотката на ротора в студено състояние е възможно да се приеме температурата на околната среда. Включването на напрежението, натоварването на машината и отчитане на хлъзгането при машина с повишена температура е необходимо да се реализира с възможно по-висока скорост, като се спазват изискванията за измерване на хлъзгане в студено състояние на двигателя.

Използването на този метод до известна степен се усложнява поради необходимостта да се използва

специална апаратура за осигуряването на постоянство на момента или мощността на вала. Освен това, при изчисляване на параметрите е необходимо да се отчита общото индуктивно съпротивление на разсейване на намотките на статора и ротора. За получаването на тези е необходимо предварително да бъдат заснети характеристиките на късосоединение при честота на напрежение, което се подава към статора на двигателя с честота 50Hz и 25Hz, в резултат на което се определят стойностите на индуктивните съпротивления x_{50} и x_{25} . Ако се приеме, че съпротивлението на разсейване на намотката на ротора x_p е пропорционално на стойността $\sqrt{\frac{1}{S}}$, то е възможно да се запише израза

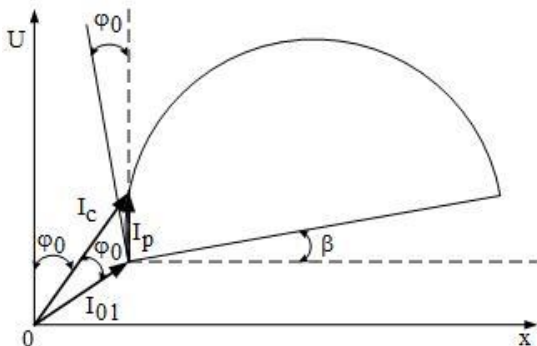
$$x_p = \frac{x_{25} - x_{50}}{\sqrt{S} - 1} \quad (6)$$

Екстраполация на величината x_p на номиналното хлъзгане е възможно да се изпълни по формулите

$$x_{pS} = x_p \cdot \sqrt{\frac{1}{S}}, \quad \frac{x_p}{x} > 0,2$$

$$x_{pS} = x_p \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{S}}, \quad \frac{x_p}{x} < 0,2$$

Всички тези затруднения е възможно да се избегнат, ако се определи активното съпротивление на намотката на ротора не чрез е.д.с. на ротора, а чрез тока. В този случай изчисленията се извършват с помощта на кръговата диаграма на асинхронен двигател, представена на фиг.2, която е построена за заместващата схема, показана на фиг.1а.



Фиг.2 Кръгова диаграма на асинхронен двигател

За определяне тока на идеален празен ход на асинхронен двигател се използват зависимостите

$$I_{0н} \cdot \sin \varphi_{0н} = I_0 \cdot \sin \varphi_0 \quad (7)$$

$$I_{0н} \cdot \cos \varphi_{0н} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \frac{P_{ст} + P_{с0}}{P_0} \quad (8)$$

$$I_{0н} = \sqrt{(I_{0н} \cdot \sin \varphi_{0н})^2 + (I_{0н} \cdot \cos \varphi_{0н})^2} \quad (9)$$

$$\cos \varphi_{0н} = \frac{I_{0н} \cdot \cos \varphi_{0н}}{I_{0н}} \quad (10)$$

където I_0 – ток на празен ход;

$I_{0н}$ – ток на идеален празен ход без отчитане на механичните загуби;

$P_{ст}$ – загуби в стоманата, определени по опитен път;

P_0 – мощност на празен ход, определена по опитен път;

$P_{с0}$ – загуби в медта на статора при празен ход.

С използване на заместващата схема и кръговата диаграма се съставят следните зависимости

$$k^2 \cdot r_p' = \frac{P_p}{3 \cdot (I_p')^2} \quad (11)$$

$$(I_p')^2 = I_0^2 + I_{0н}^2 - 2 \cdot I_c \cdot I_{0н} \cdot \cos(\varphi_{0н} - \varphi_0) \quad (12)$$

$$P_p = S \cdot (P_c - 3 \cdot I_c^2 \cdot r_c - P_{ст}) \quad (13)$$

където I_p' – приведен ток на ротора в заместващата схема;

r_p' – приведено съпротивление на роторната намотка;

P_c – първична мощност, определена по опитен път.

При определяне на загубите в медта на статора в изразите (8) и (13) следва да се отчита и съпротивлението на статорната намотка, измерено в студено състояние, а след това и при повишена температура.

Замествайки стойността на величините, изчислени по изразите (12) и (13) в (11) и определяйки активното съпротивление на намотката на ротора в студено състояние и при повишена температура, е възможно да се определи превишаването на температурата на намотката на ротора

$$\Delta \vartheta_p = \vartheta_r - \vartheta_x = \left[\frac{(k^2 \cdot r_p') \cdot x}{(k^2 \cdot r_p') \cdot x} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (14)$$

Ако за опростяване на изчисленията се приеме условието, че по времето на измерване на съпротивленията при студено състояние и при повишена температура на двигателя, токът в статора и ротора не се изменят, то превишението на температурата на роторната намотка е възможно да се изчисли по формулата

$$\Delta \vartheta_p = \left[\frac{P_{px}}{P_{px}} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (15)$$

От приведените изрази се вижда, че приближените изчисления е възможно да се използват само като се използват данни от измерването на хлъзгането в студено състояние и при повишена температура на намотката на ротора, в резултат на което се получава незначително завишен резултат, но приемлив за практическо използване

$$\Delta \vartheta_p = \left[\frac{S_r}{S_x} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (16)$$

Знаейки началната температура на роторната намотка, за която е възможно да се приеме температурата на околната среда, е възможно да се определи търсената температура на роторната намотка по израза

$$\vartheta_p = \vartheta_x + \Delta \vartheta_p \quad (17)$$

При изпълнението на прецизни измервания е възможно да се получи достатъчно висока точност.

Литература

1. Зедгинидзе Г.П. Измерение температуры вращающихся деталей машин. М., Гос тех. Издат., 1962.
2. Василовский Ю. Н. и др. Исследование устройства контроля короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя, *Електротехніка і Електромеханіка*, 2011 №6.
3. Кърцелин Е., Господинов Д, Исталиянов Р., Младенова Й, Лаков Н. Принципи за защита на електродвигатели и

- технически средства за тяхната реализация, Год. МГУ „Св.Ив.Рилски“, т. 53, св. III, МЕАМ., 88-96.,
4. Богаенко И.Н. Контролы температуры электрических машин. Киев, техника, 1975.
 5. Ганчев Г., Стоилов И., Чобанов С. Ръководство за лабораторни упражнения по минна електротехника, С., Изд. къща „Св. Иван Рилски“, 2008.
 6. Траубе Е. С. И др. Электрооборудование на 1140в для угольных машин и
 7. Правилник по безопасността на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01). Том 1 и 2. София 1992
 8. .Petrov, P. K. Georgi T. Veleв, K. M. Ivanov, -UTILIZATION OF DATA ACQUISITION SYSTEMS FOR MONITORING AND ANALYSIS OF FAULT SITUATIONS IN EFFECTIVELY GROUNDED STAR - CONNECTED ELECTRICAL POWER NETWORKS, *Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering Series* , No. 2/2009, Romania, ISSN 1842-4856;
 9. Стоилов, Ив., К. Джустров, М. Ментешев. Оптимизация на релейната защита в електрическите уредби 6 kV на “Челопеч Майнинг” АД.- Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски”, 2004, т. 47, св. III, 81-85.