

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО ВЪРХУ ЗАГУБИТЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В СИНХРОННИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Евтим Кърцелин¹, Николай Минеков², Румен Исталианов¹, Йоана Младенова¹

¹ МГУ „Св. Иван Рилски“, 1700 София

² „Асарел - Медет“ АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Изследвано е влиянието на захранващото напрежение върху отделните видове загуби и върху общите загуби на електрическа енергия в синхронни електродвигатели.

STUDY THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE AT LOSS OF ELECTRICITY IN SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

Evtim Kurtzelin¹, Nikolai Minekov², Rumen Istalianov¹, Ioana Mladenova¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Republic of Bulgaria

² "Assarel-Medet" Ltd, Panagurishte, Republic of Bulgaria

ABSTRACT. Examination the influence of supplying voltage on the separate kinds of losses and on the total losses of electric power in the synchronous electric motors.

Въведение

Един от основните фактори, които определят конкурентноспособността на едно съвременно промишлено предприятие е свързан с използването на технологични процеси с ниска енергоемкост. По този критерий обаче почти всички технологични процеси в областта на минната промишленост се оценяват като процеси с изключително висока енергоемкост.

Тази обективна даденост днес прави изключително актуална задачата за провеждане на научни изследвания за енергоемкостта във всички звена и елементи на технологичните процеси в минната промишленост.

За разработването на конкретни решения за намаляване разхода на електрическа енергия в едно промишлено предприятие е необходимо преди всичко да се разработи количествен баланс на загубите на електроенергия в електроразпределителната мрежа и в електропотребителите в границите на предприятието. Анализът на съществуващото положение по предприятия показва, че отделите в предприятията, които отговарят за експлоатацията на цялото електростопанство и участват в планиране доставката на електроенергия, не разполагат с информация за дела на загубите на електрическа енергия (по елементи на електроразпределителната мрежа и по електроконсуматори) в общия енергиен баланс на предприятието.

Основната причина за това състояние е липсата на широко достъпен метод за изчисляване загубите на електрическа енергия в елементите на електроразпределителната мрежа и в електропотребителите.

Този проблем не се решава и в процеса на обследване енергийната ефективност на технологичните процеси в промишленото предприятие, което днес е по силата на закон и специална наредба се извършва за всеки мощен електропотребител.

Благодарение на редица положителни качества в сравнение с други видове електродвигатели, синхронните електродвигатели са получили широко приложение в различни отрасли на промишленото производство. За машини и механизми, които не изискват регулируемо електрозадвижване при мощност над 500 kW се използват преди всичко синхронни двигатели. Развитието и производството на съвременни преобразуватели на честота с различна мощност и ниска пазарна цена разшириха още повече областта на използване на синхронните електродвигатели.

За реализиране производствената дейност на „Асарел – Медет“ АД, 60% от инсталираната двигателна мощност се пада на синхронните електродвигатели и 40% на асинхронните. Тази обективна даденост поставя задачата за изследване режима на работа на синхронните двигатели и оценка на възможните решения за намаляване разходите на електроенергия.

Изследване влиянието на напрежението върху загубата на електрическа енергия в синхронните двигатели

Един от факторите, които оказват най-съществено влияние върху загубите на електроенергия в промишлените уредби се явява нивото на напрежението в захранващата мрежа.

В този доклад ще се разгледа влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху загубите на електроенергия в синхронен електродвигател (СД).

За нагледност на получените резултати ще се проанализира влиянието на напрежението на електрическата мрежа върху отделните видове загуби в СД, а след това и върху общите загуби в синхронния двигател.

В съответствие с [7] видовете електрически загуби в СД зависят от режимните параметри на работа на СД и се определят по следния начин:

$$P_{Ch,S} = \left[\alpha^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_{ном} + \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 \right] D_{3S} \cdot \quad (1)$$

$$P_{Fe,S} = (\alpha \chi_\sigma \sin \varphi_{ном} + U)^2 D_{4S} \cdot \quad (2)$$

$$P_f = \alpha U D_{1f} + \alpha^2 D_{2f} + \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 D_{3f} + U^2 D_{4f} \cdot \quad (3)$$

където:

$P_{Ch,S}$, $P_{Fe,S}$, P_f - загуби в статорната намотка, стоманата на статора и във възбудителната намотка;

$\alpha = \frac{I_S \sin \varphi}{I_{Sном} \sin \varphi_{ном}}$ - коефициент на натоварване на СД по реактивен ток;

$\beta_M = \frac{U_S I_S \cos \varphi}{U_{Sном} I_{Sном} \cos \varphi_{ном}}$ - коефициент на натоварване на СД по активна мощност;

I_S , $I_{Sном}$ - пълен фазен ток в статорната намотка и неговата номинална стойност;

U_S , $U_{Sном}$, U - напрежение на статорната намотка, неговата номинална и относителна стойност;

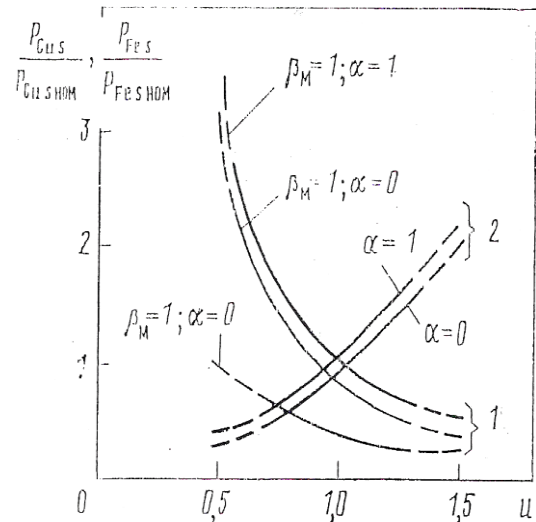
χ_σ - индуктивност на разсейване в статорната намотка от СД;

$D_{1f} \div D_{4f}$, $D_{1S} \div D_{4S}$ - коефициенти, определени чрез параметрите на СД.

Анализът на израз (1) показва, че при зададени стойности на коефициента β_M и α увеличаването на напрежението на клемите на статорната намотка на СД води до намаляване на загубите в статорната намотка, което се илюстрира с крива 1 на фиг.1.

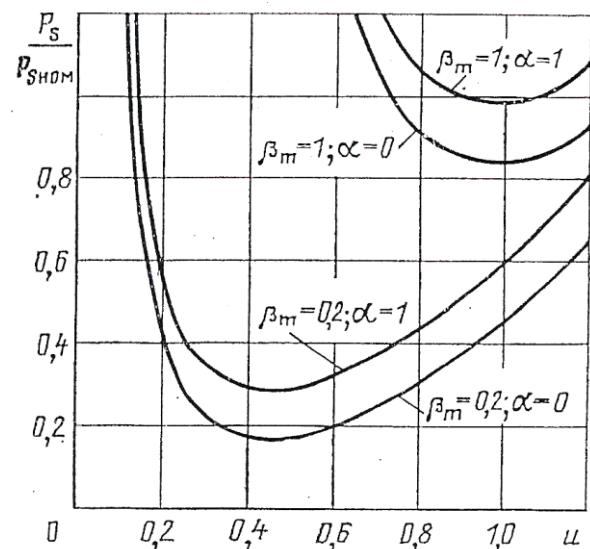
От анализа на израз (2) и от крива (2) на фиг.1 следва, че с нарастване на напрежението на захранващата мрежа води и до нарастване на загубите в стоманата на статора. Пълните загуби в статора на СД се определят с израз:

$$P_S = P_{Ch,S} + P_{Fe,S} \quad (4)$$



Фиг.1. Зависимост на загубите в намотката (криви 1) и в стоманата на статора (криви 2) от стойността на напрежението на клемите на синхронен двигател тип ДСЗ 2116-16

На фиг.2 са представени графически зависимостта на пълните загуби в СД от напрежението на захранващата мрежа.



Фиг.2. Зависимост на пълните загуби на мощност в статора от стойността на напрежението на клемите на синхронен двигател ДСЗ 2116-16

Анализът на израз (4) показва, че минималната стойност на пълните загуби в статора на СД се получава при стойност на напрежение в захранващата мрежа, определен с израз:

$$U_{PS \min} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_S} + \sqrt[4]{F_S} \right). \quad (5)$$

където:

$$F_S = \frac{2\beta_M^2 D_{3S}}{\alpha D_{1S} + 2D_{4S}}.$$

От израз (3) следва, че при зададени стойности на β_M и α минималните стойности на загубите във възбудителната

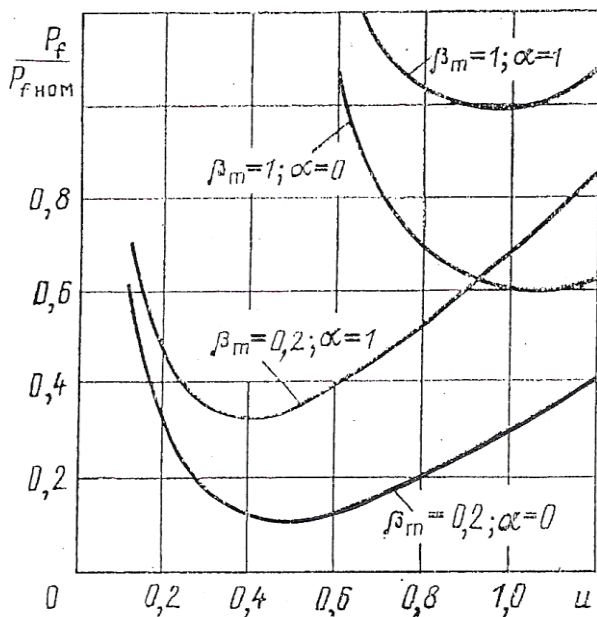
намотка се получава при следната стойност на напрежение-то на захранващата мрежа:

$$U_{Pf \min} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_f} + \sqrt[4]{F_f} \right). \quad (6)$$

където:

$$F_s = \frac{2\beta_M^2 D_{3f}}{\alpha D_{1f} + 2D_{4f}}.$$

На фиг.3 е представена графическата зависимост между загубите във възбудителната намотка на СД и нивото на напрежението на захранващата електрическа мрежа.



Фиг.3. Зависимост на загубите на мощност във възбудителната намотка от стойността на напрежението на клемите на статорната намотка на синхронен двигател тип ДСЗ 2116-16

Сравнението на изразите (5) и (6) показва, че напрежението на захранващата, при което се достигат максимални стойности на загубите в статора и във възбудителната намотка на синхронния двигател, в най-общия случай не съвпадат.

Общите електромагнитни загуби в СД се получават чрез събиране на загубите в намотката и стоманата на статора и на загубите във възбудителната намотка:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= P_{CuS} + P_{FeS} + P_f = \\ &= \alpha U (D_{1s} + D_{1f}) + \alpha^2 (D_{2s} + D_{2f}) + \\ &+ \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 (D_{3s} + D_{3f}) + U^2 (D_{4s} + D_{4f}). \end{aligned} \quad (7)$$

Минималната стойност на общите електромагнитни загуби в СД се получават при следната стойност на захранващото напрежение на електрическата мрежа:

$$U_{P\Sigma \min} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_{\Sigma}} + \sqrt[4]{F_{\Sigma}} \right). \quad (8)$$

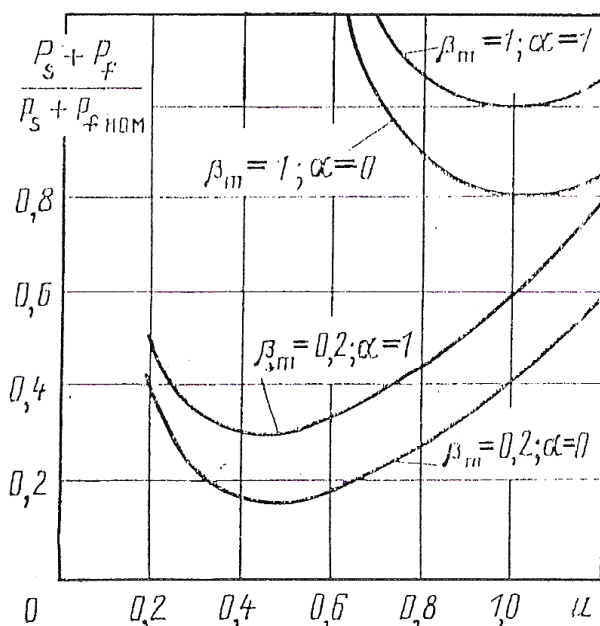
където:

$$F_{\Sigma} = \frac{2\beta_M^2 (D_{3s} + D_{3f})}{\alpha (D_{1s} + D_{1f}) + 2(D_{4s} + D_{4f})}.$$

При $\alpha = 0$, което се явява един частен случай, формула (8) приема следния вид:

$$U_{P\Sigma \min} = \sqrt[4]{F_s}. \quad (9)$$

На фиг.4 са представени графически зависимостта на общите електромагнитни загуби в синхронен двигател от напрежението на захранващата мрежа при различни стойности на коефициентите α и β_M .



Фиг.4. Зависимост на общите загуби на мощност (в статора и във възбудителната намотка) от напрежението на клемите на статорната намотка на синхронен двигател тип ДСЗ 2116-16

Изводи

1. При зададени стойности на коефициентите α и β_M стойностите на напрежението на захранващата електрическа мрежа, при които се получава минимална стойност на загубите в статорната намотка, в стоманата на статора и във възбудителната намотка на един синхронен двигател са различни. Минимизиране на загубите във възбудителната намотка е възможно да се реализира например при въвеждането на допълнителното условие – минимално нагряване на възбудителната намотка. Изпълнението на това условие от своя страна ще доведе обаче до увеличаване на загубите в статора и общите загуби в СД.

Съответното минимизиране на загубите в статора води до увеличаване на загубите във възбудителната намотка и на общите загуби в СД.

2. Общите загуби в СД имат минимална стойност при напрежение на захранващата мрежа, определено по формула (8). При тази стойност на напрежението обаче загубите във възбудителната намотка и статора, а следователно и тяхното нагряване ще превишават минимално възможните стойности.

3. Нагряването над допустими стойности, определени от класа на използваната изолация води до значително съкращаване на експлоатация на ресурс на синхронния двигател.

4. Влиянието на активния товар върху напрежението, при които се постигат минимални общи загуби в СД, е съществено по-силно в сравнение с реактивния товар.

Литература

1. Данаилов, Д. Рационално използване на електроенергията в минните предприятия. С., Техника, 1985.
2. Закон за енергийната ефективност. Д.В., бр.18 от 05.03.2004 г.
3. Маркушевич, Н. С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. Москва., Энергоатомиздат, 1984.
4. Наредба №РД-16-294 от 01.04.2008г. за обследване на енергийната ефективност. Д. в., бр.38 от 2008 г.
5. Наредба №3 от 9.06.2004г. за устройството и електрически уредби и електропроводните линии. Д.в., бр.90 и 91 от 2004 г.
6. Орел, О. А. Оптимизация режимов работы синхронного двигателя по критерию минимума электромагнитных потерь., Электричество., 1988, №3.
7. Правилник за безопасността на труда при разработването на находища по открит начин. С., 1996.

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ