

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ НА КОНУСНИ ТРОШАЧКИ

Стефан Чобанов

СМС-С ЕООД, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ: В статията са включени основните резултати от експерименталните изследвания и анализи на пускови и работни режими на електрозадвижвания на конусни трошачки за средно и ситно трошене. Електрическите двигатели са асинхронни с накъсосъединен ротор и напрежение 6kV.

EXPERIMENTAL STUDY ON ELECTRICAL DRIVES OF CONE CRUSHERS

Stephan Chobanov

СМС-С Ltd., UMG "St. Iv. Rilski" Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. General results from experimental studies and analysis on starting and operating modes of electrical drives of cone secondary and tertiary crushers have been included in the article. Electric motors are asynchronous with a squirrel cage rotor and voltage of 6kV.

Обекти на изследване

Експериментално са изследвани и са анализирани пускови и работни режими на конусни трошачки в Обогащителните фабрики на Челопеч Майнинг АД и Елаците Мед АД, в цеховете са средно и ситно трошене.

Задвижват се от асинхронни двигатели с късосъединен ротор, с мощност 250kW и 355 kW и напрежение 6kV.

Цел

Целта на изследването е да се получат точни количествени оценки за натоварването на трошачките при всички режими на работа, за избора на мощността на двигателите, да се получат реални данни, които да се положат в основата на избора и настройките на защитите: отчитане на преходните процеси при включване и тяхната продължителност; диапазоните в натоварването и отчитането им при токовите защити; асиметрията в режимите на работа генерираща симетричните съставки с нулева, права и обратна последователност в напрежението и тока.

Методика

Изследването се базира на измервания за експериментално получаване на данни за: моментните и ефективни стойности на токовете и на линейните напрежения в трите фази; активната и реактивната мощности и енергии; $\cos \phi$. Записите са във функция от времето, което позволява да се определи продължителността на пусковете

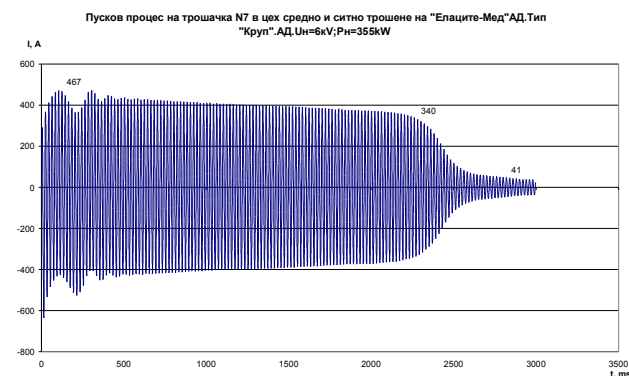
процеси и да се получат средните стойности на величините за произволно възприети интервали от време в периоди, характеризиращи установени и квазиустановени режими при работа на празен ход и под товар.

Измерванията са проведени с микропроцесорен апарат „Мултивер“, сканиращ моментни стойности през 0,5ms.

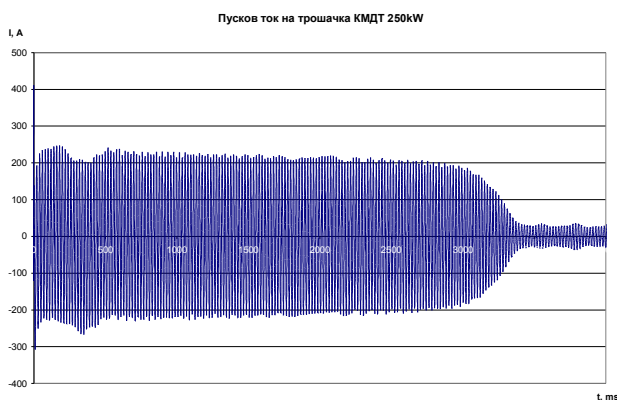
Анализ на режимите на работа

Пускови процеси

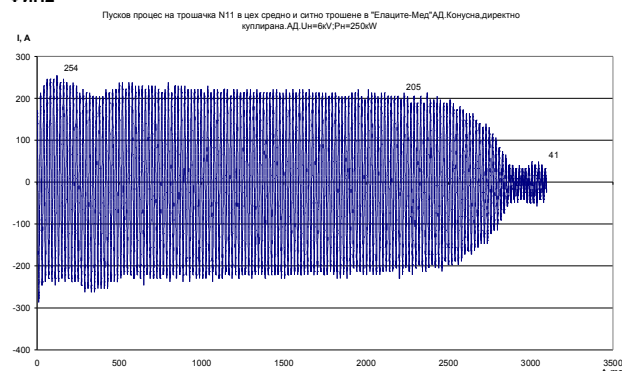
Пусковите процеси на конусните трошачки се характеризират с осцилограмите на фиг.1, 2 и 3. Те показват идентичността им за различните по мощност електрически двигатели като характер на изменение на пусковия ток. Различията са в големината на тока и продължителността на пусковия процес.



Фиг.1

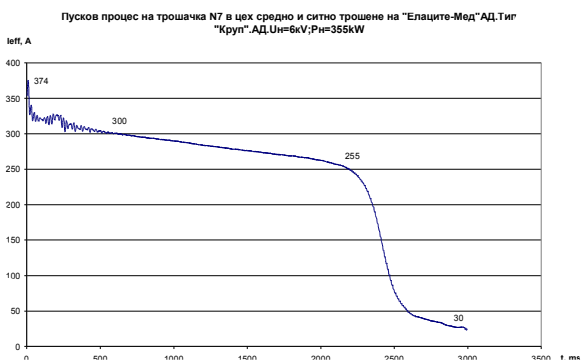


Фиг.2



Фиг.3

В момента на включване и през първите 25 периода (до 250 ms) се наблюдава изменения на пусковия ток както на моментните, така и на ефективните стойности (фиг.4): върховите моменти стойности са с кратности от 9,86 (за двигателите с мощност 355kW) до 5,8 (за двигателите с мощност 250kW) тези стойности, които са с малка продължителност, са по-големи спрямо каталожните параметри. За двата типа двигатели кратностите на пусковите токове спрямо номиналните са съответно 5,6 и 5,5. По нататък, в хода на пусковия процес, токът линейно и с малка скорост намалява, достигайки кратности съответно 5,3 (за двигатели 355kW) и 4,5 (за двигатели 250kW)



Фиг.4

Това е периода, който се променя по продължителност в зависимост от съпротивителния момент.

В края на пусковия процес, в последните 300-500 ms, моментните (ефективни) стойности бързо, макар неравномерно намаляват, достигайки работния ток (фиг.1, 2 и 3). Изследванията на автора и върху други задвижвания с асинхронни двигатели с късосъединен ротор в минната промишленост [1], потвърждава анало-

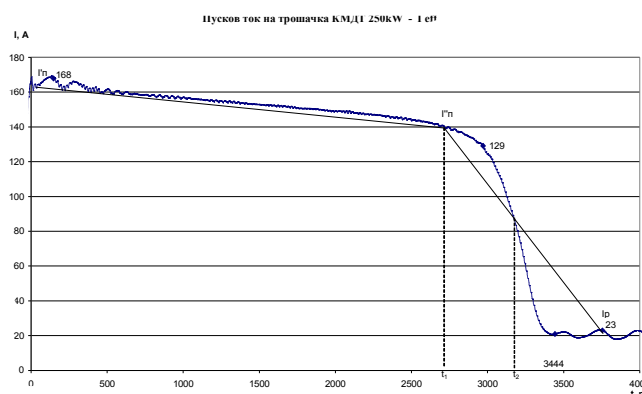
гичния характер в измененията на тока в процеса на пускане. Обобщените данни в таблица 1, показват че отчетените стойности за кратностите на пусковите токове на двигателите са от 58% до 76% по-големи спрямо обявените. Това обстоятелство трябва да се има предвид при определяне отстройките на свръх токовите защиты, особено на тези с токова отсечка. Продължителността на пусковия процес влияе съществено както върху настройките на зависимите от времето токови защиты от пренатоварване, каквито са въведени и при трошачките, така и при определяне на допустимия брой последователни пускания на двигателите.

Таблица 1

Мощност на двигателите, kW	Обявен (номинален) ток, A	Амплитудни стойности на пусковия ток, A		Кратност на тока		
		Обявена стойност	По осцилограмите максимална /средна	Обявена стойност	По осцилограмите	%
250	34,8	273	278/254	5,5	5,8/5,5	105/100
355	45,0	358	620/467	5,6	9,86/7,3	176/130

Определянето на допустимия брой последователни включения и броя на включенията за час е особено актуално за двигателите с големи мощности от порядъка $10^2 - 10^3$ kW, които нормално имат по-продължителен пусков период. В методиките [1, 2, 3] се възприема, че пусковия ток, респективно пусковата мощност е константна, като се изчисляват по обявена стойност $\frac{I_n}{I_n}$. Това може да се прецизира, възползвайки се от получените резултати, определяйки средната стойност на тока в пусковия процес.

Анализирайки осцилограмите възниква идеята, измененията в ефективните стойности на тока при пускане да се апроксимират с прави линии (фиг.5)



Фиг.5

В интервала t_1 права преминава през двете характерни точки с координатата $(I_n', 0)$ (I_n'', t_1) , а в интервала t_2 права преминава през I_n'' и I_p (I_p е работния ток). Апроксимацията е достатъчно точно да се извърши графично, въпреки, че е възможно и аналитично дефини-

ране на двете прави по математически критерии за равно-отдалеченост.

Средната стойност на пусковия ток, при графична апроксимация (фиг.5) се определя по зависимостта:

$$I_n^{cp} = \frac{I_n' + I_n''}{2(t_1 + t_2)} t_1 + \frac{I_n'' + I_p}{2(t_1 + t_2)} t_2 \quad (1)$$

$$I_n^{cp} = \frac{1}{2} \left(I_n'' + \frac{I_n' t_1 + I_p t_2}{t_1 + t_2} \right) \quad (2)$$

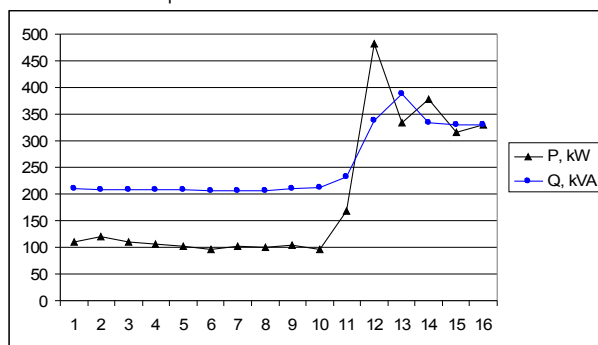
Спрямо номиналния ток при $I_p = I_n$

$$I_n^{cp} = \frac{1}{2} \left(I_n'' + \frac{I_n' t_1 + I_n t_2}{t_1 + t_2} \right) \quad (3)$$

Изчисленията направени по (3) за заснетите осцилограми (фиг.1 и фиг.2) показват, че определените средни стойности на пусковете са съответно: за 355 kW двигател $I_n^{cp} = 275A$; за 250kW двигател $I_n^{cp} = 223A$. Тези стойности са съответно 9,12% и 16,14% по-големи от обявените (номинални) пускови токове.

Работни режими

Два са характерните работни режими на трошачките. Те са илюстрирани с товарите диаграми за активната и реактивната мощност, определени за 1 min, получени за конусната трошачка КМД 9 в Елаците мед (фиг.6), с номинална мощност 355kW.



Фиг.6

Режим на празен ход. Към трошачката не се подава материал (руда). Консумираната активна мощност е приблизително 104,5 kW, което представлява 29,4% от обявената (номинална) мощност. Реактивната мощност е средно 208,0kVAг и лимитира $\cos\phi = 0.446$, приблизително 0,45.

За двигателите с мощност 250 kW, активната мощност на празен ход е 91,25 kW (36,5% спрямо обявената), а реактивната – 97,2%. Те определят фактор на мощността при празен ход $\cos\phi = 0.35$. Разликите в средните стойности

на $\cos\phi$ в режим на празен ход се определят от конструктивните параметри на двата двигателя.

Работен режим с товар (фиг.6, след 10min). Наблюдава се рязко нарастване на консумираната активна мощност – почти 480% спрямо мощности при празен ход: максималното натоварване е 482,3 kW, т.е. претоварване (за 1min) с 35,8%; средната активна мощност (по осцилограмата е 334,78 kW, което представлява 94,3 от номиналната мощност на двигателя (355 kW). Размахът в консумираната мощност е:

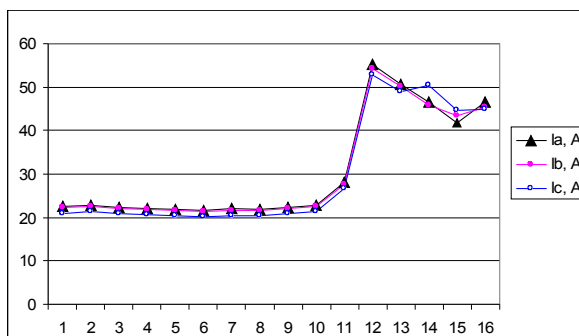
$$P_{\max} - P_{\min} = 482.3 - 316.7 = 165.5kW$$

Така се потвърждава променливия характер на натоварването, което е функция от равномерното подаване на материала в трошачката, от ситовия състав на рудата след стадия средно трошене, както и от физикомеханичните и свойства.

Средната мощност, която се консумира в квази-стационарен работен режим е $P_{cp} = 331kW$. Резултатите от измерванията и анализа на получените резултати показват, че електрозадвиганията на конусните трошачки за ситно трошене са подбрани правилно. В работен режим средното натоварване за 30min е 93%, при $\cos\phi_{cp} = 0.8$ за двигатели с мощност 355kW. От същия порядък е натоварването на конусната трошачка задвигвана с 250kW двигател. Отчитайки, че електрическите двигатели понесят безпроблемно продължително претоварване до 5%, мощностите са резервирани с общо 12,15%, което гарантира и тяхната нормална работа при възприетите параметри на технологичния режим.

Асиметрични режими в натоварването на електрозадвиганията

Измерванията проведени в ОП „Елаците Мед“ констатираха асиметрия в натоварването на фазите във всички изследвани електрозадвигания на конусните трошачки. Отчетена бе асиметрия на трите тока (осреднени за 1min) (фиг.7), сравнявайки модулите им, без да се отчитат техните фази, които не са измерени достатъчно точно.



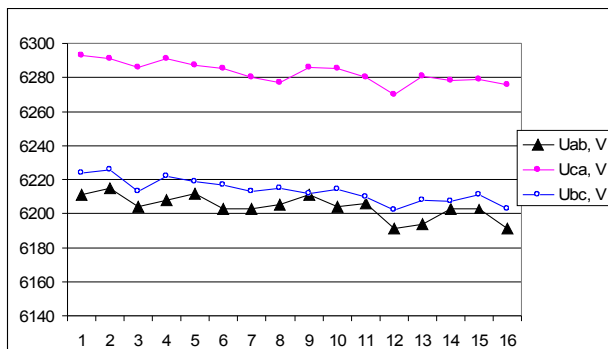
Фиг.7

При празен ход, средната стойност на тока за двигателите с мощност 355kW е $|I_{cp}| = 21.73A$, като отклоненията в трите фази са съответно +0,62A (2,85%); +0,32A (1,47%); -1,65A (-7,5%). Максималният размах е 2,27A, което е

10,45% спрямо средния ток, или 5,04% спрямо номиналния ток на двигателите.

При натоварване средната стойност на модулите на трите тока $|I_a|$, $|I_b|$, $|I_c|$ е 54,03А, а отклоненията в трите фазни тока са съответно +1,16А (2,15%); +0,1А (+0,002%); -1,27А (-7,5%). Размахът на токовете е 2,43А, което представлява 4,5% спрямо средния измерен ток и 5,4% спрямо номиналния ток.

Записите на линейните напрежения в трифазната мрежа (фиг.8), показваха, че в тях също се наблюдава асиметрия.



Фиг.8

При работа на празен ход на клемите на двигателя (по точно на извода на КРУ за двигателя) са измерени напрежения $|U_{1-2}|=6,211kV$, $|U_{1-3}|=6,286kV$, $|U_{2-3}|=6,212kV$. При средна стойност на модулите на трите напрежения

$$|U_{\text{ср}}| = \frac{\sum_{i=1}^3 U_i}{3} = 6.236kV$$

отклоненията в трите фазни напрежения са съответно -25V (-0,40%); +50V (+0,8%); -24V (-0,38%), размахът е 1,20% (в абсолютни стойности 75V).

Подобна асиметрия в напреженията бе констатирана страна 110kV, т.е. тя е генерирана в електроразпределителната система.

Трябва да се подчертае, че при работа под товар (фиг.8) асиметрията не се променя съществено. Изчислените отклонения за трите фази са съответно: -0,43%; +0,79% и -0,3% при размах 76V (1,21%).

Анализът на асиметрията на токовете и асиметрията в напреженията, показват че при токовете тя е значително

Препоръчана за публикуване от Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

по-голяма, при това зависещи от натоварването на двигателя. Следователно, асиметрията в натоварването е резултат както на асиметрията в напрежението, така и на асиметрията в импедансите на трите фази на двигателя. Същественото е, че тя генерира токове с права, обратна и нулева последователност, които трябва да се имат предвид при настройките на защиты, реагиращи на асиметрия.

Изводи

Електрозадвиженията на конусните трошачки в ССТ на Елаците Мед и Челопеч Майнинг са правилно подбрани по мощност.

1. Пусковите процеси затихват до 3-3,5s, като в момента на включване си получават значителни моментни токове, по които трябва да се отстроят защитите с токови отсечки.
- 2.
3. Средната стойност на тока при включване на двигателя, в периода на развъртане надхвърля обявения пусков ток до 20%, което трябва да се отчита при определяне на допустимия брой последователни включения на двигателите задвижващи трошачки, както на защитите от блокиран ротор.
- 4.
5. Измерванията в ОП „Елаците Мед“ доказаха целесъобразността от въвеждане на защиты от токове и напрежение с обратна последователност и отстройване на земните защиты от тока с нулева последователност, генериран от асиметрията в токовете.
- 6.
7. Резултатите от изследванията доказаха необходимостта и полезността на експерименталното изследване на електрозадвиженията, като необходимо условие за избора и настройката на съвременните микропроцесорни защиты.

Литература

- Чобанов, Ст., *Усъвършенстване на рудничните подстанции СрН, управлението и защитата на мощни електрозадвижения*. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор“, МГУ „Св.Иван Рилски“, 2006
- Панов, Вл., *Електрически машини*. МГУ „Св.Иван Рилски“, 1995
- Wildi, Th., *Electrical machines, Drivers and Power Systems*, Prentice Hall, 1997