

STUDY OF STARTING CHARACTERISTICS OF A RUBBER BELT CONVEYOR FOR OPEN-PIT CONDITIONS

Kiril Dzhustrov, Zhivko Iliev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: justrov@mgu.bg; jivko.iliev@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents the results of the study of the electromechanical transient processes of the electric motors driving rubber belt conveyors in an open pit. Studies cover both a normal no-load belt running and a belt running at design performance.

Key words: research, loading, starting characteristics, rubber belt conveyors.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПУСКОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ГУМЕНО ЛЕНТОВ ТРАНСПОРТЪОР ЗА УСЛОВИЯТА НА ОТКРИТ РУДНИК

Кирил Джустров, Живко Илиев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени резултати от изследването на електромеханичните преходни процеси на електродвигателите, задвижващи гумено-лентови транспортъори в открит рудник. Изследванията обхващат както нормалното пускане на лентата без товар, така и пускането на лента с проектната производителност.

Ключови думи: изследване, натоварване, пусковите характеристики, гумено-лентови транспортъори.

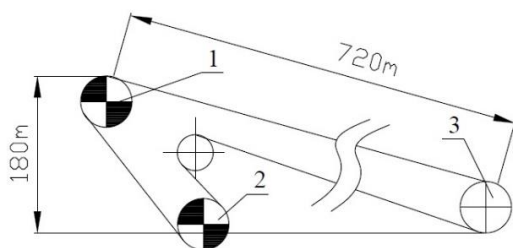
Въведение

Експерименталното изследване е насочено към определяне на пусковите характеристики на гумено-лентови транспортъори за условията на открит рудник. При тяхната съвместна работа с добивни машини от типа на багер права лопата, се получават транспортни системи с големи производителности и мощности. (Шейретов, 2022, Тасев, 2017) Това предимство на гумено-лентовите транспортъори определя тяхното широко използване в минната промишленост. От друга страна, възможността за експериментални изследвания в реална работна среда е важно условие за анализиране на пусковите характеристики на гумено-лентовите транспортъори.

На фиг. 1 е представена схема на гумено-лентов транспортъор за открит рудник със следните позиции:

1 – първи задвижващ барабан; 2 – втори задвижващ барабан; 3 – обръщателен барабан.

Изследван е лентов транспортъор с дължина на лентата 720 m, денивелацията 180 m и наклон, под който се извозва товара – 15%. Скоростта на лентовото платно е в границите 4-4,5 m/s. Номиналната производителност е 2500 t/h. Задвижването се осъществява с два барабана с три двигателно-редукторни групи. Електродвигателите са асинхронни с навит ротор тип FTA 450E6 с номинална мощност $P_n=630\text{kW}$, номинален ток в статора $I_n=74\text{A}$, номинален ток в ротора $I_{nr}=650\text{A}$; номинално напрежение $U_n=6\text{kV}$ и 988 обороти в минута (Лаков Н. и др, 2023).



Фиг. 1. Гумено-лентов транспортъор

Технически данни на уредите, с които са извършени измерванията

За измерване на електрическите параметри в статорните и роторните намотки, както и на пусковите процеси на електродвигателите са използвани мрежови анализатори FLUKE 437-II и FLUKE 435-II.

Уредите са с клас на точност при измерване на напрежение 0,1% от номиналното, $\pm 1,5\%$ за тока, $\pm 2,0\%$ за активна, реактивна и пълна мощност. Честотният диапазон в който работят е от 10 Hz до 7,0 kHz.

За измерването също така е използван и трифазен мрежов анализатор на качеството на електрическата енергия MULTIVER 3SN, който дава възможност за измерване, изчисляване, запис и анализ на всички електрически величини и показателите за качеството на електрическата енергия. Той измерва напрежението и тока с точност - 0,5%. Честотата на измерване е от 30-900 Hz.

Измерване с мрежовите анализатори

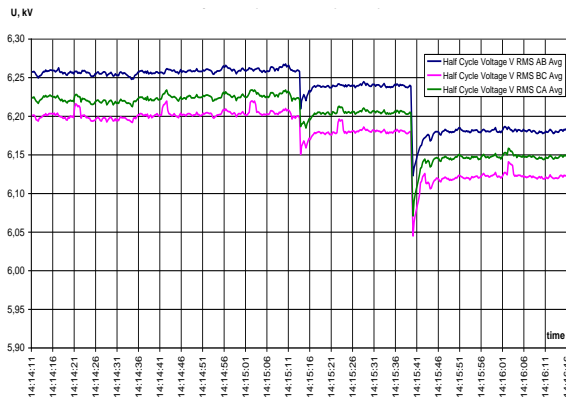
Измерванията се провеждат при следните условия:

1. Трите мрежови анализатори първоначално бяха свързани към статорните намотки на електродвигателите. Ампер-клемите на уредите бяха присъединени към захранващите кабели 6 kV, а напрежението се снимаше от напреженов измервателен трансформатор. Направени са записи при пускане на ГТЛ на празен ход, работа на ГТЛ с натоварване 2500 t/h, пускане под товар 2500 t/h, работа с натоварване 2800 t/h, пускане с натоварване 2800 t/h.

Следващите измервания бяха в роторните вериги на трите електродвигателя. Ампер-клемите на мрежовите анализатори измерваха директно тока в роторната намотка, а напрежението се снимаше директно от шините в роторната верига. Направиха се измервания на електрическите параметри в роторните вериги на електродвигателите при същите технологични условия, както при измерванията в статорните намотки. Направено бе допълнително измерване в роторните вериги при увеличено натоварване до 3200 t/h.

2. Измерване на електрическите показатели в статора на електродвигателите (Киров, Илиев, 2017, Lakov, 2016).

На фиг. 2 е показан запис на напрежението в статора на двигател № 1 при пускане на ГТЛ №1 на празен ход.

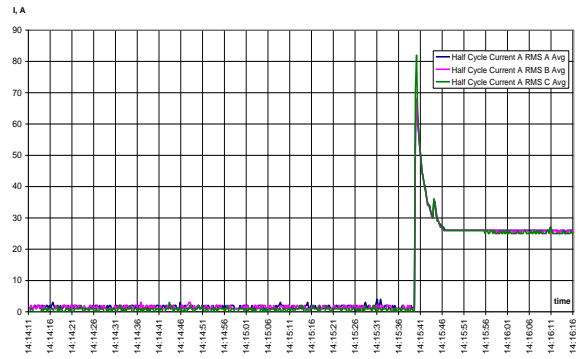


Фиг. 2. Пускане на празен ход – Мотор 1 статор.

От осцилограмата се вижда, че при пускане на ГТЛ на празен ход минималната регистрирана стойност на напрежението е 6,05kV, която е по-висока от номиналното напрежение на електродвигателя – 6,0kV. (Лакв, 2020)

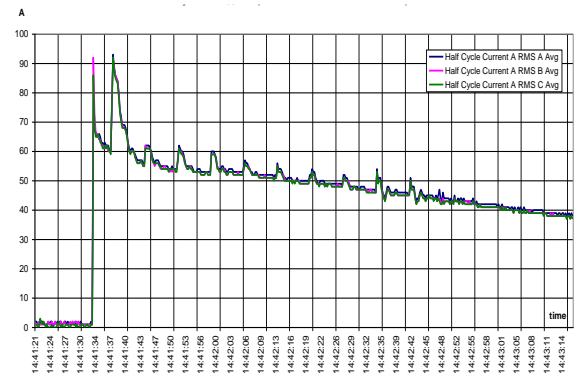
На фиг. 3 е показан запис на тока в ротора на двигател № 1 при пускане на ГТЛ №1 на празен ход.

От кривата на тока в статора на електродвигателя може да се отчете максималната ефективна стойност на тока, която е 82 A, а установеният ток на празен ход е 26 A. При номинален ток на статора на електродвигателя от 74 A очевидно проблеми с пускането на празен ход на ГТР №1 няма. Подобни са и записите на останалите два електродвигателя (Kurtzelin, Cozma, Istalianov, Lakov, 2011)

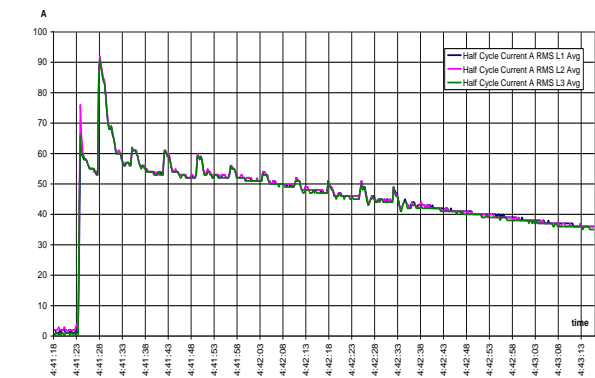


Фиг. 3. Пускане на празен ход – Мотор 1 статор.

Фиг. 4 и фиг. 5 илюстрират характера на тока в статора на двигател № 1 и двигател № 2 при пускане на ГТЛ № 1 с натоварване 2500 t/h.



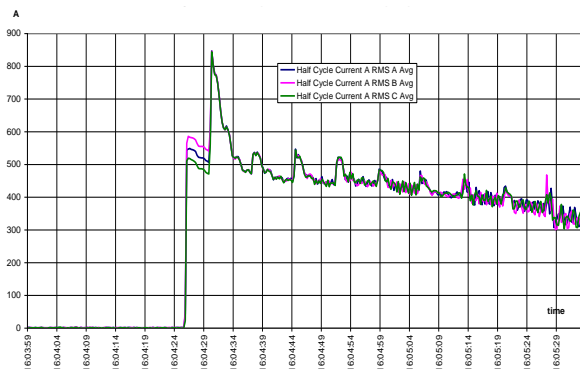
Фиг. 4. Пускане под товар 2500 t/h на М1 – токове в статора



Фиг. 5. Пускане под товар 2500 t/h на М2 – токове в статора

От фигурите се вижда еднаквият характер на тока по време на преходния процес за двата електродвигателя. Максималната ефективна стойност на тока е регистрирана и при двата двигателя в момента на изключване на първата степен на съпротивленията в ротора и за двигател № 1 тя е 93 A, а за двигател № 2 – 91 A. След приключване на преходния процес, който е с продължителност 73s, токът в статорите на електродвигателите се установява в границите 36-38 A. От фигурите се вижда добрия синхрон в моментите на изключване на роторните съпротивления на електродвигателите. Пускането при спряна лента с натоварване 2500 t/h по отношение на статорния ток на електродвигателите е напълно безпроблемно. Средната стойност на тока през време на пусковия процес е около 50-60 A, което е под номиналния ток на електродвигателите 74 A.

При пускане на конвейера под товар от 2500 t/h характерът на процеса се различава значително от този на празен ход. На фиг. 6 е показан токът в ротора на електродвигател № 1. В първия момент на включване, при пълен набор роторни съпротивления, токът е ограничен до около 550 А. Токът в ротора плавно намалява и след 4 секунди се изключва първата степен на роторните съпротивления.

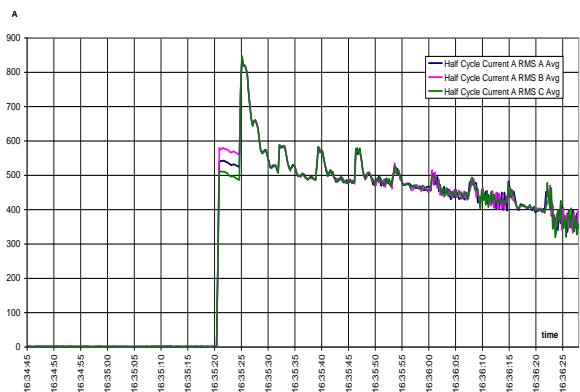


Фиг. 6. Пускане под товар 2500 t/h на M1 – токове в ротора

След изключването на първата степен от роторните съпротивления, токът скокообразно нараства до 847 А. За 7 s токът в ротора намалява до 517 А, след което на равни интервали от време – 7 s се изключват останалите съпротивления на роторната верига.

При пускане под товар на двигател № 1 се забелязва разлика в големината на тока в трите фази на ротора за времето от 4 s до изключване на първата степен. Най-голям е токът във фаза А – 580 А, а най-малък – във фаза С – 508 А. Възможна причина за това е неравенството в стойностите на съпротивленията в първата степен.

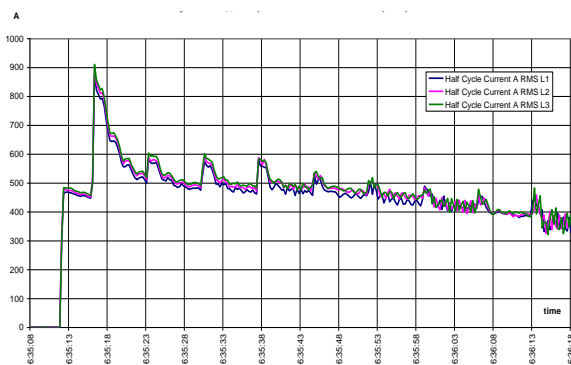
На фиг. 7 е показан пусковия процес на електродвигател № 1 при натоварена лента с 2800 t/h. Не се забелязва разлика в стойностите на тока в ротора, нито във времетраенето на пусковия процес.



Фиг. 7. Пускане под товар 2800 t/h на M1 – токове в ротора.

На фиг. 8 е показан пусковият процес на тока, заснет на електродвигател № 2 при натоварена лента с 2800 t/h. При този електродвигател токовете в трите фази по време на първата степен са симетрични.

Прави впечатление, че след изключване на първата степен на съпротивленията в ротора, токът нараства значително и достига до 850-900 А.



Фиг. 8. Пускане под товар 2800 t/h на M2 – токове в ротора

В продължение на няколко секунди останалите в работа роторни съпротивления се претоварват (номиналният ток на роторните съпротивления е 650 А). Това провокира интереса ни за заснемане последователността при комутация на контакторите и определяне стойността на съпротивленията в ротора за всяка степен. В Таблица 1 за всяка степен (от 0 до 10) са дадени включените контактори (К), отбелязани със знака X и стойностите на съпротивленията в работа.

Таблица 1. Схема на комутация на роторните съпротивления

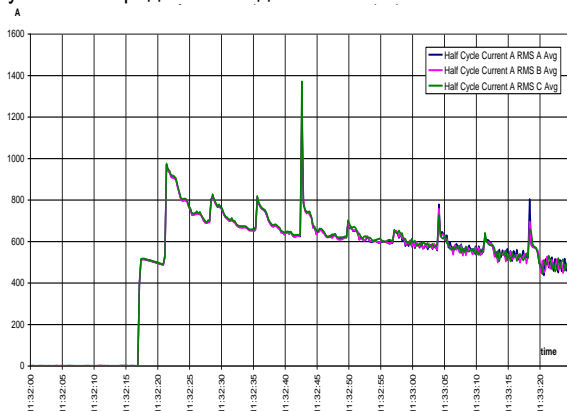
степен	K1	K2	K3	K4	K5	K0	Съпротивления в ротора, Ω
0							1,935
1	X				X		0,917
2			X		X		0,857
3	X	X	X		X		0,558
4	X			X	X		0,438
5		X		X	X		0,378
6	X	X		X	X		0,318
7			X	X	X		0,259
8	X		X	X	X		0,199
9		X	X	X	X		0,139
10						X	0,079

От таблицата се вижда голямата разлика в стойностите на роторните съпротивления между нулева и първа степен – 1,018 Ω. Това е причината токът в ротора да се увеличава почти двойно след изключване на първата степен роторни съпротивления. При изключване на следващите степени разликата в съпротивленията е многократно по-малка – от 0,299 Ω до 0,06 Ω.

При 10-та степен се включва контакторът K0, свързващ в триъгълник роторните съпротивления със стойност 0,079 Ω, които остават в работа. Съпротивленията работят в продължителен режим и всяко от тях при работа на ГТЛ №1 с проектната производителност отделя във вид на топлина около 28 kW.

За изясняване на някои проблеми при записите на пусков процес на електродвигател № 3 беше направен допълнителен запис на тока в ротора с мрежов анализатор FLUKE 437-II (фиг.9).

Натоварването на ГТЛ при пускането бе 3000 t/h. Пусковият процес протича аналогично на процесите при другите електродвигатели до включването на 5-та степен.



Фиг. 9. Пускане под товар 3000 t/h на МЗ – токове в ротора.

В момента на комутиране на 5-степен се появява преходен процес, характеризиращ се с много големи стойности на тока и с продължителност 90 ms. Максималната регистрирана ефективна стойност на тока е 1372 А. Подобни преходни процеси, свързани с по-високи стойности на тока, има регистрирани и при комутиацията на 8-ма и 10-та степен. При тях максималните стойности на тока са много по-ниски от тези при комутиацията на 5-та степен.

Заклучение

В обобщаване на извършеното експериментално изследване може да се направят следните заключения:

- Изследването в експлоатационни работни условия с цифровата измерителна апаратура FLUKE 437-II и FLUKE

435-II е възможно както за пусковите процеси при натоварена лента с максимална производителност, така и при стационарни работни режими;

- Продължителността на преходните процеси при включването на двигателите с натоварена лента е около 70 s, което трябва да се отчита при избора на защитна и комутационна апаратура;

- Коефициентът на самопускане на статорния и роторния ток достига до $K_{сп} = 1,25$, с продължителност 3s.

Литература

- Киров, Р., И. Илиев. 2017. *Електроенергийна ефективност*, гр. Варна, издателство „Ена“ ООД, ISBN 978-619-7255-05-8
- Лаков, Н. и др. 2023. Междинен отчет по договор № МЕМФ-177/10.05.2023г. „Изследване натоварването на гуменолентови транспортъори за условията на открит рудник.“
- Лаков, Н., 2020. Отклонения на напрежението. *Списание Енергиен форум*, бр. 37/38, стр. 42-46. ISSN1313-2962
- Тасев, Л. 2017. Износвания и повреди в редукторите на рудничните локомотиви за подземен извоз. *Годишник МГУ*.
- Шейретов, Х. 2022. *Рудничен транспорт*. изд. Neofeedback, София. ISBN 978-619-7329-83-4. 229с.
- Kurtzelin, E., V. Cozma, R. Istalianov, N. Lakov. 2011. Functional dependence between the asymmetry as regards current and voltage in the electrical distribution network, *International scientific "Confereng 2011" edition 16*, November 11-12, 2011, Targu-Jiu, 2/2011, 44-50.
- Lakov, N. 2016. Energy efficiency of fans for local ventilation, *International scientific, 9th Symposium Durability and Reliability of Mechanical Systems, SYMECH 2016*, Runcu, Gorj, May 20-21. ISSN 1842-4856