

OPERATION OF FREQUENCY-CONTROLLED CONED ELECTRIC HOIST MOTOR⁵

Assoc. Prof. Toni Uzunov, PhD

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

“Angel Kanchev”, University of Ruse

Tel.: +359 82 888 239

E-mail: tuzunov@uni-ruse.bg

Abstract: *The present work shows the exploration of the possibilities and the specialities at frequency control of a cone-shaped electric hoist motor. An experimental installation was designed. It was used for experiments and registering of the kinematic parameters when an electric hoist motor is working. An analysis of the received experimental data has been completed.*

Keywords: *frequency control, cone electric motor, hoist*

ВЪВЕДЕНИЕ

За постигане на висока производителност на товароподемните машини е необходимо увеличаване на работните скорости на механизмите им, което води до нарастване на динамичното натоварване на звената, възникващо по време на преходните процеси. Динамичните процеси в крановите подеми механизми, задвижвани от променливотокови електродвигатели, могат да се подобрят чрез реостатно пускане (спиране) при двигатели с навит ротор и поставяне на маховик при кафезен ротор.

Съвременна възможност за намаляване на динамичното натоварване е управление на електродвигателя чрез използване на честотни инвертори (ЧИ). Задвижването с ЧИ позволява регулиране на ъгловата скорост, въртящият момент, стартирането и спирането на асинхронни или синхронни променливотокови двигатели. С помощта на ЧИ могат да реализират различни закони на ускоряване и спиране на двигателите и възможности за програмиране на параметрите на зададените функции.

При използване на ЧИ се постигат редица предимства като: по-висок пусков момент отколкото пускане с понижено напрежение, енергоспестяване, удължен живот на механичното оборудване, намаляване пусковия ток, елиминират се промените на напрежението. Честотата и напрежението не са ограничени и асинхронния мотор може да се пуска и ускорява от неподвижно състояние. Честотният преобразувател изменя не само честотата, но и приложеното към мотора напрежение. Чрез това се осигурява необходимият момент на вала на двигателя без да се стига до прегряване.

Исходната честота не зависи от честотата на мрежата и може да бъде по-голяма или по-малка от нея, с което скоростта на двигателя може да се регулира както под синхронната, така и над нея.

Електродвигателите използвани в подемите механизми на електротелферите, произвеждани у нас, са с конусен ротор 10 (фиг. 1) и статор 9, и вградена нормално затворена конусна спирачка. Характерна особеност на конусния двигател е, че при включване на статора към електрическата мрежа, наред със създаването на въртящо се електромагнитно поле възниква и осова електромагнитна сила F_A в момента t_1 (фиг. 2.), в следствие конусността на ротора и статора. Възникналата осова сила осигурява изключването на спирачката, като в момента t_2 аксиалната сила F_{A1} и силата на пружината $F_{ПР}$ стават равни.

⁵ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Ремонт и надеждност“ на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: РАБОТА НА КОНУСЕН ТЕЛФЕРЕН ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛ С ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ

Валът с монтираните върху него ротор и подвижен спирачен конус 18 (фиг. 1) започват да се движат в осово направление към аксиалната опора 3 под действие на разликата на двете сили $F_{A1} - F_{ПР}$. В момента t_3 (фиг. 2.) аксиалната сила достига максималната си стойност за съответната въздушна междина между ротора и статора, а в момента t_4 валът на ротора се допира до аксиална опора. В интервала $[t_4, t_5]$ двигателят преминава от пусков режим в установена работа, а в момента t_5 двигателят се изключва от електрическата мрежа и започва затихване на аксиалната електромагнитна сила. Включването на спирачката започва от момента t_6 , в който аксиалната сила F_{A4} става по-малка от силата на пружинната $F_{ПР}$. Под действието на разликата на двете сили $F_{ПР} - F_{A5}$, роторът се премества в осово направление и в момента t_7 подвижния спирачен конус се допира до неподвижния и започва процесът спиране.

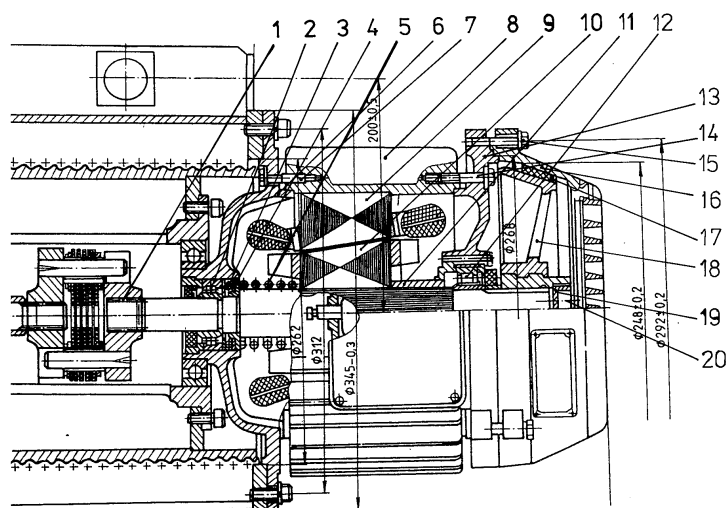
В интервалите $[t_2, t_4]$ и $[t_6, t_7]$ аксиалната електромагнитна сила е функция на времето, променящата се въздушна хлабина между ротора и статора и електромагнитните процеси в двигателя, съответно при включването и изключването му към мрежата. Тези функции са определени в работите (Uzunov, T. 2021^{a,b,c}, 2022), (Uzunov, T., & I. Todorov. 2021).

По време на експлоатация на електротелферите в следствие износването на фрикционния материал 17 (фиг. 1) на спирачката се увеличава въздушната хлабина между ротора и статора при неработещ двигател.

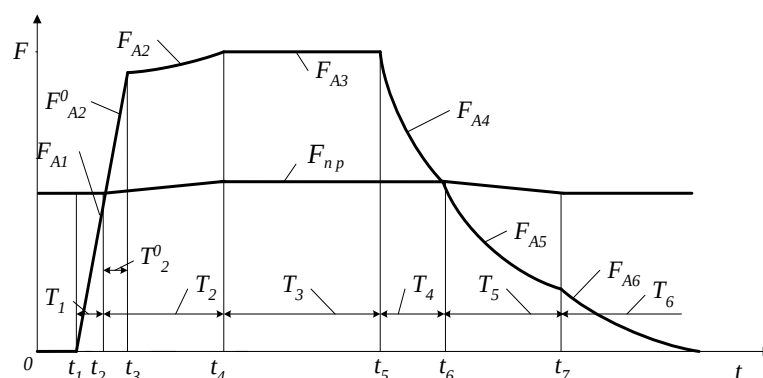
Установено е, че в процесите на спиране, поради увеличеното време за сработване на спирачката, пружината ускорява ротора и подвижния спирачен конус в осовото им преместване до по-голяма скорост и затварянето на спирачката е съпроводено с няколкократни удари и отскачане на вала, ротора и подвижния спирачен конус, което води до по-големи динамични натоварвания на елементите на спирачката. Динамичните натоварвания в следствие възникващите удари водят до разрушения на някои елементи на електродвигателя, които дори не подлежат на възстановяване (Nikolov M., & I. Todorov 2016), (Nikolov M. 2019).

За осигуряване на нормална работа на двигателя е необходима аксиална електромагнитна сила, с големина около два пъти по-голяма от силата на спирачната пружина. Този факт предопределя известни съмнения относно използването на честотно управление за конусни електродвигатели.

Целта на настоящата работа е да се изследват какви възможности и особености съществуват за честотно управление на телферен електродвигател с конусен ротор и статор.



Фиг. 1. Телферен електродвигател с конусен ротор и статор на фирма ЕЛМОТ гр. В. Търново

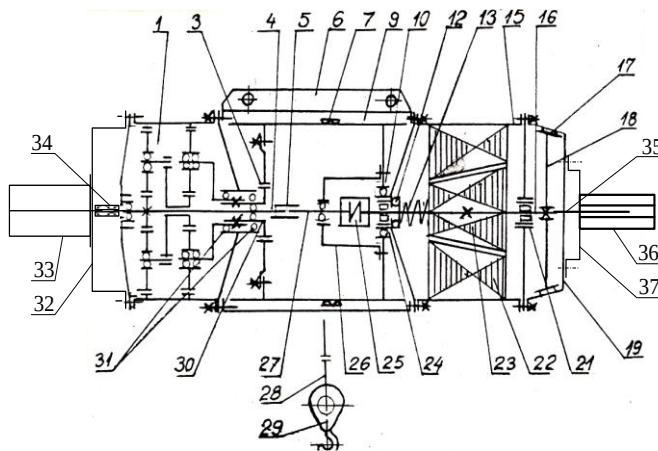


Фиг. 2. Сили действащи върху ротора при работа на конусен електродвигател

ИЗЛОЖЕНИЕ

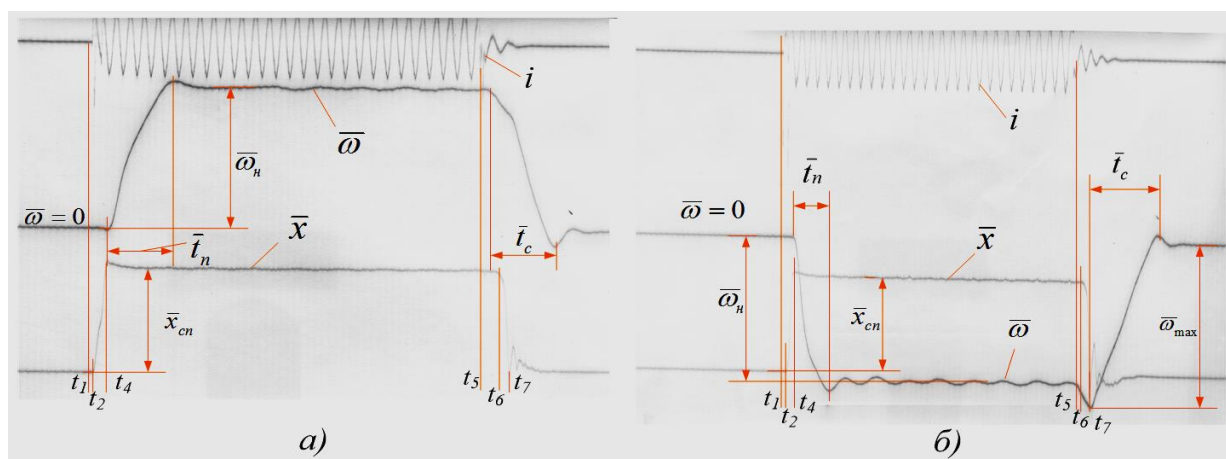
За установяване възможностите за използване на честотно управление на телферен електродвигател е разработена опитна уредба показана на фиг. 3. Използва се електродвигател от подемен механизъм на въжен електротелфер с номинална товароподемност 500 kg.

При управление с честотния инвертор се игнорира оригиналното и електродвигателя се командва от ЧИ. С помощта на опитната уредба могат да се регистрират осовото движение на ротора, промяната на ъгловата скорост на вала на двигателя и тока в статорната намотка. За регистриране на осовото движение на ротора, към челото на вала 16 на двигателя е закрепен щифт 35 на индуктивен преобразувател за преместване тип IWT-302, с възможност за регистриране на преместване $\pm 10 \text{ mm}$ и диапазон на работна честота 0...1000 Hz.



Фиг. 3. Схема на опитната уредба

Корпусът на преобразувателя 36 е закрепен чрез стойка 37 към неподвижния спирачен конус 19. Сигналят от преобразувателя се усилва от тензометричен усилвател UM 131 и се регистрира от светолъчев осцилограф 12 LS1. Използва се галванометър със собствена честота 1000 Hz. Опитите са проведени при осово преместване на вала $\Delta=1 \text{ mm}$, което съответства на нормалната работна хлабина в спирачката. Хлабината се регулира с помощта на винта 19 (фиг. 1). За регистриране изменението на ъгловата скорост на вала на двигателя се използва тахогенератор 33 (фиг. 3), който е свързан към входящия вал 4 на редуктора 1 чрез еластичен съединител 34. Преобразуваната чрез тахогенератора ъглова скорост в напрежение се записва от светолъчевия осцилограф. Проведени са опити при вдигане и спускане на товари с различна маса при използване на ЧИ и при оригиналното управление.

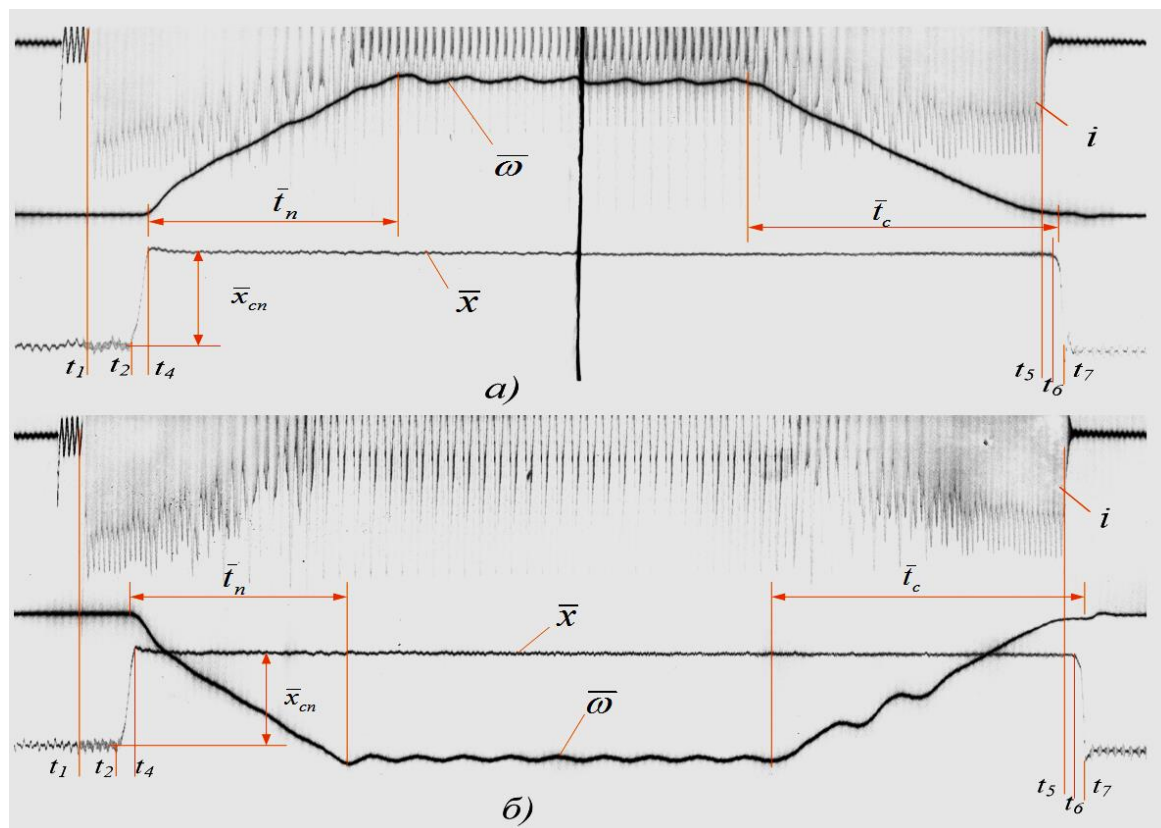


Фиг. 4. Осцилограми на осовото движение и ъгловата скорост на ротора на двигателя при оригинално управление в процес на: а) вдигане; б) спускане.

На фиг. 4 и фиг. 5 са показани осцилограми от проведени опити с товар 250 kg съответно при оригиналното управление на двигателя и при използване на ЧИ. На тях са регистрирани сигнала от индуктивния преобразувател $\bar{x}$, сигнала от тахогенератора $\bar{\omega}$ и тока i в една от статорните намотки. Отбелязани са характерните моменти от t_1 до t_7 на силите действащи върху ротора при работа на двигателя съгласно фиг. 2.

От анализа на получените осцилограми се установи, че интервалите $[t_2, t_4]$ и $[t_6, t_7]$ при оригиналното управление на двигателя са приблизително еднакви с тези получени при използване на ЧИ. Това показва, че процесите на възникването и затихването на аксиалната електромагнитна сила при ЧИ са аналогични на тези при оригиналното управление на двигателя. Освен това началото на процеса на ускоряване на ротора и в двата случая на управление започва от момента t_4 . От това може да се направи извод, че ЧИ не нарушава нормалната работа на електродвигателите с конусен ротор и статор.

Установи се, че при товари с маса по-голяма от $1/2$ от номиналния товар е необходимо да се използва спирачен резистор, тъй като в процес на спускане двигателят работи в генераторен режим, протичат токове превишаващи допустимия на ЧИ, при което сработва защитата му и се прекъсва захранването към електродвигателя.



Фиг. 5. Осцилограми на осовото движение и ъгловата скорост на ротора на двигателя при управление с честотен инвертор в процес на: а) вдигане; б) спускане.

При оригиналното управление на двигателя в процес на спускане (фиг. 4б) се вижда, че след изключване на двигателя от мрежата, в момента t_6 започва процес на ускоряване ротора на двигателя, като ъгловата му скорост надвишава номиналната ($\bar{\omega}_n$) и достига стойност $\bar{\omega}_{\max}$ до момента t_7 , в който подвижния спирачен конус се допира до неподвижния и се задейства спирачката. Увеличаването на ъгловата скорост над номиналната се дължи на факта, че при изключване на двигателя от електрическата мрежа изчезва въртящият момент и докато роторът измине път в осово направление равен на хлабината на спирачката, товарът извършва свободно падане и ускорява въртеливо и постъпателно движещите се маси на подемния механизъм на електротелфера, което увеличава кинетичната им енергия. В процес на спиране спирачката преобразува тази енергия в топлина, което води до увеличаване на специфичната работа на триене, в резултат се увеличават температурата и износването на триещите се повърхнини. При честотно управление на двигателя този недостатък се премахва, тъй като спирачката се включва в края на електродинамичното спиране, осигурено от ЧИ при ъглова скорост близка до нула, което се вижда от осцилограмите, дадени на фиг. 5.

При използване на ЧИ се осигурява възможност за увеличаване времената на пускане и спиране (t_n и t_c) в сравнение със същите при оригиналното задвижване, с което може да се реализира ускоряване и спиране на товара с предварително зададено ускорение. От проведените опити при честотно управление се установи, че товарите с различно тегло не променят зададените времена на пускане и спиране.

При работа на празен ход с помощта на ЧИ може да се увеличи честотата на въртене на двигателя над синхронната, с което се дава възможност за увеличаване производителността на електротелфера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установено е, че ЧИ може да се приложи за управление на телферен електродвигател с конусен ротор и статор, като при товари с маса по-голяма от 1/2 от номиналния товар е необходимо да се използва спирачен резистор.

2. При използване на честотно управление се подобрява работата на електротелфера в динамично отношение и се дава възможност за увеличаване производителността на електротелфера.

3. С помощта на честотно управление се облекчава работата на спирачката в енергийно отношение.

4. Необходимо е да се извърши опитно изследване влиянието на честотното управление върху динамичното натоварване на подемния механизъм на електротелфер, задвижван от електродвигател с конусен ротор и статор.

REFERENCES

Nikolov M. *Restorative vibro-welded coatings in shielding gases and their mixtures - scientific monograph*, Academic Publishing House, University of Ruse, 2019, p 144, ISBN: 978 954 712 756 2

Nikolov M., & I. Todorov. (2016). *A research about influence of overlaying speed upon electrical parameters the process during vibrating arc overlaying of worn parts of transportational and agricultural machinery in ashield of argon*. In Agricultural, forest and transport machinery and technologies, No 1, Volume II, pp. 28-34, ISSN 2367-5888.

Uzunov, T. (2022). *Modeling of dynamic processes when a cone shaped electric hoist motor is established to wor*. Paper presented at the XIX International Scientific Congress Machines. Technologies. Materials, Bulgaria, Vol. 1, pp. 32-34.

Uzunov, T. (2021)^a. *Investigation of the axial movement of the rotor when switching on a conical hoist electric motor*. Paper presented at the IX International Scientific Conference Technics. Technologies. Education. Safety. 07-10.06.2021, vol. 1, pp.11-13, Borovets, Bulgaria.

Uzunov, T. (2021)^b. *Investigation of the influence of the gap between the rotor and the stator of a conical telpher motor on the axial electromagnetic force*. Paper presented at the IX International Scientific Conference Technics. Technologies. Education. Safety. 07-10.06.2021, vol. 1, pp.25-27, Borovets, Bulgaria.

Uzunov, T. (2021)^c. *Modeling of dynamic processes when starting a electric hoist motor*. Paper presented at the Proceedings of University of Ruse - 2021, volume 60, book 1.1., pp. 69-74.

Uzunov, T., & I. Todorov. (2021). *Theoretical investigation of the dynamic loading of a lifting mechanism*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings Transport, Ecology - Sustainable Development EKO Varna, Vol. 2439, s. 1, pp. 020025-1–020025-6.