

**РАБОТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА УДАРНИ
ЕЛЕКТРОИНСТРУМЕНТИ ПРИ ДИНАМИЧНИ И УСТАНОВЕНИ
РЕЖИМИ****ELECTRIC IMPACT DRILLS PERFORMANCE CHARACTERISTICS AT
DYNAMIC AND STEADY-STATE REGIMES****Dimitar Spirov***University of Food Technology - Plovdiv***Milko Dochev***Technical college - Lovech***Abstract**

This paper deals with the performance analysis of an electric impact drills (EID). The EID is being driven by a single-phase collector motor drive. A mathematical model of an electro-mechanic system of an EID has been worked out. The dynamic model of an electric motor consists of a system of non-linear differential equations that include the resistance and dynamic inductance of an armature and field winding and spinning E.M.F. The proposed drive system is modeled and its performance is simulated.

Keywords: single-phase serial collector motor, electric impact drills, performance characteristics.

ВЪВЕДЕНИЕ

Еднофазните колекторни машини се използват основно в електродомакинските уреди и при ръчните и ударните електроинструменти. Динамичните режими при еднофазните колекторни машини имат голямо значение, защото тези двигатели са подложени на чести пускания, спирания и реверсирания, големи претоварвания и изменения на скоростта, което се отразява съществено на термичния живот на изолацията и лагерите на машината и намалява ресурса им.

Линейните динамични модели не отразяват адекватно поведението на еднофазните колекторни машини при тези режими на работа. Създаването на нелинейни математически модели на тези машини, отразяващи все по-пълно тяхното действително поведение, е обект на особено внимание на специалистите по електромеханични системи и автоматично управление на електродвигателите.

Моделирането на универсален колекторен двигател и четковия комутационен апа-

рат по метода на крайните елементи е направено в [1]. Еквивалентна схема за анализ на работата на универсален колекторен двигател е разработена в [2]. В [3] е разработен динамичен модел на еднофазен колекторен двигател с използване на система диференциални уравнения, включващи съпротивленията и динамичните индуктивности на котвената и възбудителната намотки, е.д.н. на въртене и инерционният момент на ротора. Дадени са резултатите от симулацията на преходните процеси на тока, момента и скоростта на двигателя при пускане и натоварване.

Динамичен модел на еднофазен сериен колекторен двигател с отчитане на нелинейните магнитни условия и подходи за аналитично изразяване на загубите от пре намагнитване на магнитопровода и на загубите в комутиращите секции от трансформаторното е.д.н. са разработени в [4].

Цел на настоящата работа е разработването на математически модел на електромеханичната система на ударен електроинструмент.

Ударният електроинструмент се задвижва от еднофазен колекторен серийен колекторен електродвигател.

Динамичният момент на електродвигателя се състои от система нелинейни диференциални уравнения, включващи активните съпротивления и динамичните индуктивности на котвената и възбудителната намотки, е.д.н. на въртене и позволява отчитане на загубите в стоманата на статора и на ротора и моментите от механичните загуби. Механичната част на електроинструмента се описва с двумасов динамичен модел.

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛИ

С оглед възможността да се изследват работните и енергийните характеристики на еднофазен колекторен двигател както при динамични, така и при установени режими е удобно да се използват диференциалните уравнения за изобразяващите вектори. Разработването на математическите модели и изследванията се извършват при общоприетите допускания и означения [4].

Електромеханичното преобразуване на енергията в еднофазния колекторен двигател се представя с уравненията за моментните стойности на величините [3]. Системата се записва в следния вид:

$$u = e + (R_{a\Sigma} + R_f) i + (L_{fd} + L_{fs}) \frac{di}{dt} +$$

$$+ (L_{ad} + L_{as}) \frac{di}{dt} + L_{fsd} \frac{di_s}{dt}$$

$$0 = R_s i_s + (L_{sd} + L_{s\sigma}) \frac{di_s}{dt} + L_{sfd} \frac{di}{dt} \quad (2)$$

$$e = L_m (i_m) \dot{i}_m \Omega = \psi_\delta \Omega \quad (3)$$

$$M = L_m (i_m) \dot{i}_m i = \psi_\delta i \quad (4)$$

където: $R_{a\Sigma}$, R_f , R_s – активни съпротивления на котвената намотка, на възбудителната намотка, включително съпротивлението на четковия контакт и на намотката, съответстваща на загубите в стоманата; $L_m(i_m)$ – величина, имаща характер на взаимна индуктивност между намотките и свързана с

магнитния поток във въздушната междина и е.д.н. на въртене; L_{da} , L_{df} , L_{ds} , L_{dfs} , L_{dsf} – динамични индуктивности на намотките; L_{al} , L_{fl} , L_{sl} – индуктивности на разсейване на намотките.

Ще се използва математически модел на еднофазния колекторен двигател, който отчита нелинейностите от електромагнитен характер. Той позволява да се отчита влиянието на насищането на потока на реакцията на котвата, потока на възбудителната намотка и потока във въздушната междина върху съответните параметри и характеристики на еднофазния колекторен двигател при динамични и при установени режими [4].

Ударните електроинструменти като сложно електромеханично устройство се синтезират по класическата схема електродвигател – редуктор, с допълнително включена пусково – регулираща и защитна апаратура (прекъсвач, електронен блок, филтър и др.). Електродвигателят обикновено е еднофазен двуполусен серийен колекторен, а редукторът е едно – или двускоростен механизъм с голямо предавателно съотношение на зъбните колела. Особено при експлоатацията на УЕИ е, че те първоначално се развъртат на празен ход, а след това се натоварват с променливо натоварване, често обусловено чисто субективно от оператора на инструмента и избрания от него режим на работа.

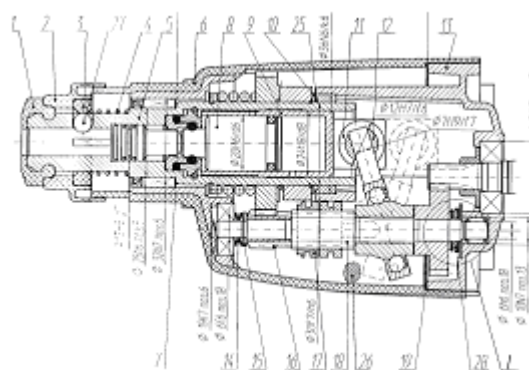
Особености, принцип на работа и конструктивно устройство на перфоратор

Всички машини от този вид имат електропневматичен ударен механизъм, който осигурява висока енергия на ударите и голяма дълготрайност при продължителен и силно натоварен режим на експлоатация. Перфораторите в клас 2–3 kg използват инструменти със захват SDS Plus, а по-големите машини – в класове 5 kg и 7 kg работят с шила, длета, свредла и боркорони SDS MAX. Къртачите, които са специализирани в къртене на бетон, тухли, зидария и пр. други строителни материали, са отделен клас електроинструменти. Перфораторите в клас 2–3 kg са представени с най-много мо-

дели, което се дължи на факта, че този вид инструменти са най-често използваните при извършване на най-различни строително-ремонтни дейности – пробиване на отвори в тухлена зидария или бетон за дюбели, прокарване на различни инсталации, монтиране на конзолни кутии за електрическа инсталация, къртене на мазилка, изкопаване на канали в зидарията за прокарване на инсталации, разбиване на отвори в тухлена стена, премахване на стара облицовка с плочки, изкъртване на циментови замазки и др. Почти всички модели имат възможност за изключване на въртеливото действие, при което машината работи в режим на къртене. Характерно за тези най-леки машини е, че те са с универсално приложение. При изключено ударно действие и поставен челюстен патронник те пробиват със свредла с цилиндрична опашка предмети от стомана и цветни метали, дърво и пластмаси. Моделите с буквата Е в наименованието имат система за електронно регулиране на честотата на въртене, а с СЕ са обозначени машините, които в добавка имат и система, която поддържа постоянна зададената честота на въртене, независимо от натоварването. Буквата R означава реверсиране /по електрически начин/ на посоката на въртене.

Перфораторите в този клас /2–3 kg/, произведени у нас са BPR 220E, BPR 220CE, BPR 240E, BPR 241E, BPR 241CE, BPR 261E. От тях BPR 220 E и BPR 220CE работят единствено като перфоратори, докато всички останали имат и функцията къртене. Енергията на удара, в зависимост от модела, е от 1,8 J до 3,1 J, което е достатъчно за дейностите, за които са предвидени тези машини.

Поради високия въртящ момент, независимо от класа си, за предпазване от опасно за работещия завъртане на машината вследствие заклинване на свредлото, всички перфоратори имат механичен предпазен съединител. На фиг. 1 е представен чертеж на редуктора на българския перфоратор тип БПР 241Е. Позициите на чертежа са дадени в [7].



Фиг. 1. Чертеж на редуктор на перфоратор тип БПР 241Е

При работа с инструмента се получават периодични натоварвания, които могат да се разглеждат като трептения с определена амплитуда и честота. Кинетичната енергия се определя по зависимостта:

$$E_r = \frac{1}{2} m_r v_r^2 \quad (5)$$

Вследствие еластичността на пръта се появява еластична компонента на енергията, /потенциална енергия/ зависеща от времето и определена с израз:

$$E_s(t) = \int F(t).ds \quad (6)$$

Въвеждайки връзката $ds = vdt$ и замествайки силата, приложена по оста на изпитвателния прът $F(t) = A_s \sigma(t)$, където $\sigma(t) = Iv(t)$, а акустичния импеданс е $I = \rho c$. След като използваме закона на Хук за механичното напрежение $\sigma(t) = E\varepsilon(t)$ и заместим в (6) получаваме следния израз:

$$E_s = \frac{A_s}{I} \int_0^T \sigma^2(t) \quad (7)$$

Разглеждаме двумасов динамичен модел, който е динамически еквивалентен на задвижването на електроинструмент, като привеждането е извършено към вала на електродвигателя. Във връзката между първата и втората маси отчитаме демпфирането на еластичния съединител.

Уравненията за равновесие на моментите, действащи на отделените съсредоточени маси в системата, в която са отделени най-значителните маси – роторът на двигателя с неподвижно свързаната към него ремъчна шайба и на товара са [6]:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{J_1} \left[M - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - \right. \\ &\quad \left. - b_{12}(\omega_1 - \omega_2) \right], \\ \frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{1}{J_2} \left[c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \right. \\ &\quad \left. + b_{12}(\omega_1 - \omega_2) - M_c \right], \\ \frac{d\varphi_1}{dt} &= \omega_1; \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \omega_2, \end{aligned} \quad (8)$$

където: J_1 – инерционен момент на ротора на електродвигателя, на съединителя и на ремъчната шайба; J_2 – приведен инерционен момент на ремъчната шайба и на товара; c_{12} – твърдост на предавката; b_{12} – коефициент на демпфиране на предавката; M е електромагнитен момент на електродвигателя; M_c – съпротивителен момент на товара; ω_1 и ω_2 са ъглови скорости съответно на първата и втората маси.

Ако обединим системата уравнения, представляващи математически модел на електрическата част и системата уравнения представляваща математически модел на механичната част на електроинструмента, ще получим системата диференциални уравнения, описваща електромеханичната система на електроинструмент.

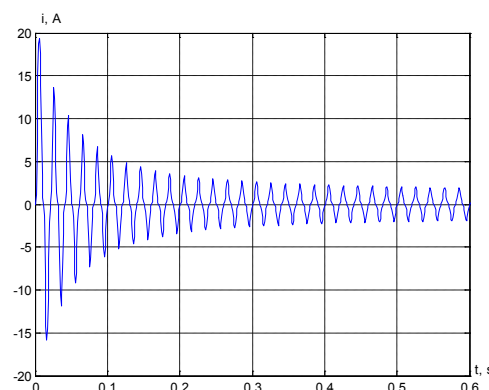
ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

С помощта на разработените модели на еднофазен колекторен двигател и на механичната част на системата са изследвани преходните процеси при пускане и установените режими на еднофазен колекторен електродвигател за задвижване на ръчен перфоратор тип БПР 241Е. Техническите данни на перфоратора са дадени в Приложение 1.

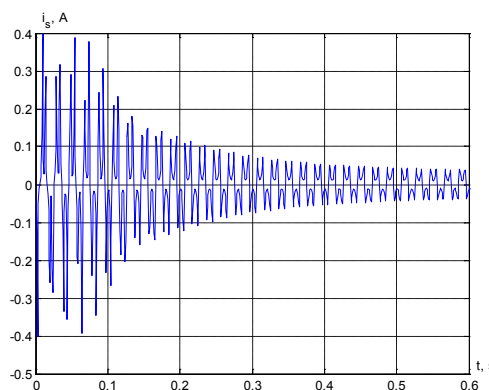
Стойностите на сумарния съпротивителен момент и на инерционния момент на механизма, заснети за електроинструмент тип БПР 241 Е при пробиване на отвори в

бетонни блокчета, тип ”бордюр”, марка на бетона В45, със свредла на фирма „Kress”-Германия, с диаметри съответно $\Phi 10$, $\Phi 12$, $\Phi 16$ и $\Phi 24$, до достигане на дълбочина 100 mm са съответно $M_c=1,32\text{Nm}$; $1,64\text{ Nm}$; $2,28\text{ Nm}$; $3,56\text{ Nm}$; $J_m=0,30 \cdot 10^{-3}\text{kgm}^2$.

Твърдостта на предавката е $c_{1,2}=23,46\text{N/m}$, коефициентът на демпфирането ѝ е $b_{1,2}=\eta(c_{1,2}/\omega_1)=1,408/\omega_1$, Ns/m.

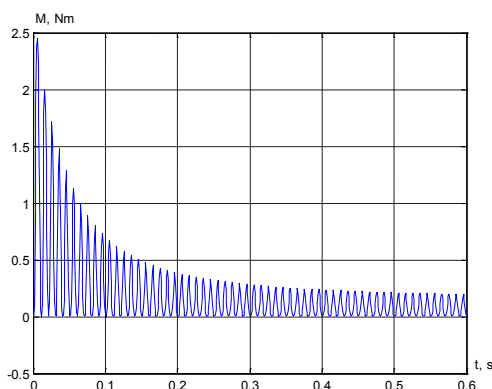


Фиг. 2. Зависимост $i=f(t)$

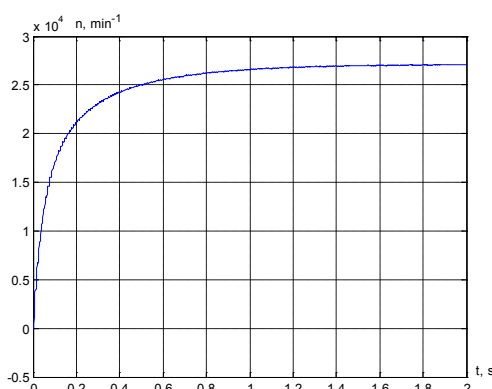


Фиг. 3. Зависимост $i_s=f(t)$

Инерционните моменти на останалите елементи са: на двигателя $J_{\text{дв}}=0,03 \cdot 10^{-3}\text{kgm}^2$, на механизма $J_{\text{м}}=0,25 \cdot 10^{-3}\text{kgm}^2$, на първата маса $J_1=J_{\text{дв}}+J_{\text{м}}=0,28 \cdot 10^{-3}\text{kgm}^2$, на изход $J_{\text{max}}=0,30 \cdot 10^{-3}\text{kgm}^2$. Инерционния момент на втората маса е: $J_2=J_{\text{max}}+J_m$. С използване на математическия модел са получени зависимостите на работните характеристики на изследвания двигател и на механизма във функция от времето. Част от получените резултати са показани на съответните фигури (фиг. 2 – фиг. 5).



Фиг. 4. Зависимост $M=f(t)$



Фиг. 5. Зависимост $n=f(t)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е математически модел на електромеханичната система на задвижването на ръчен ударен електроинструмент с пневматичен възел (перфоратор). Електромеханичното преобразуване на енергията в задвижващия еднофазен колекторен двигател се представя със система нелинейни диференциални уравнения, включваща съпротивленията и динамичните индуктивности на котвената и на възбудителната намотки, е.д.н. на въртене и инерционният момент на ротора. Механичната част на задвижването на електроинструмента се описва с двумахов динамичен модел.

С разработения математически модел и подходящи програмни продукти се изследват динамичните и установените режими на задвижването и динамичните моменти на връзките на перфоратора.

Моделът е приложим в развойната и учебна дейност в областта на ръчните електроинструменти и електрически микромашини.

REFERENCE

- [1] Wang, R. H., R. T. Walter.: Modeling of Universal Motor Performance and Brush Commutation Using Finite Element Computed Inductance and Resistance Matrices. IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 15, №3, 2000, pp. 257-263.
- [2] Gerlando, A., R. Perini, G. Rapi.: Equivalent Circuit for the Performance Analysis of Universal Motors. IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 19, №1, 2004, pp. 18-27.
- [3] Bojilov, G., E. Ratz, M. Mihov, A. Ivanov.: Non-linear mathematical model of electro-mechanical transient process of single-phase collector motor in taking to account of steel losses. Annals of Technical University – Sofia, vol. 53, 2004. (in Bulgarian)
- [4] Dochev, M., G. Bojilov.: Diagnostic computing model of a single-phase commutator motor for power tools “ELMA 99”, Varna, 1999, pp. 106-109.
- [5] Jordanov, P. V., D. Spirov, M. Dochev.: Power tools performance characteristics at dynamic and steady-state regimes. RaDMI 2009, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009.
- [6] Vladimirov, P., S. Rachev, D. Spirov. Performance and energy characteristics determination of induction machines in dynamic and steady-state regimes. “Energetika”, №2-3, 2006, pp. 46-53. (in Bulgarian)
- [7] Справочна документация № 150198 на фирмата СПАРКИ ЕЛТОС АД - Ловеч

Приложение 1

Технически данни : Перфоратор BPR 241E

Максимален диаметър на свредлото за:

- бетон/стомана/цветни метали/дърво:
24/13/24/30 mm

- макс. диаметър на пробиване с корона в тухли: 65 mm

Скорост на въртене на празен ход: 0–1300 min⁻¹

Скорост на въртене при номинална мощност:
900 min⁻¹

Брой на ударите на празен ход: 6200 min⁻¹

Брой на ударите при номинална мощност: 4100 min⁻¹

Енергия на удара (ЕРТА процедура 05/2009):
2.5 J

Максимален въртящ момент: 30 Nm

Закрепване на инструмента: SDS+

Обхват на патронника: 1.5–13 mm

Диаметър на присъединителната шийка: 43 mm

Тегло: 2.8 kg

Напрежение: 230 V~50 Hz

Консумирана мощност: 710 W