

Фиг.4. Графика на полинома (3.6) при промяна на натоварването

$$1 - T = 10 Nm, 2 - T = 20 Nm, 3 - T = 30 Nm$$

6. Заключение

Разгледаният в статията метод предоставя възможността за управление на АД чрез намиране оптимална стойност на магнитния поток. Стойността на Φ_{opt} е намерена изцяло параметрично, използвани само зависимости, описващи загубите в дадения АД. Това от своя страна предпоставка за хардуерна реализация на предложени начини за оптимално управление. Разгледаният в статията симулационен модел може да се използва за изграждане на система за намиране на оптимален магнитен поток чрез цифрова схемотехника или чрез използването на микропроцесорно устройство. В бъдещо развитие на темата следва да бъде реализирана конкретна система за задвижване на базата на оптимален магнитен поток и уточняване на приложението и за намаляване на загубите при реалните АД.

7. Литература

1. Kioskeridis and Margaris N., Loss minimization in scalar controlled induction motor drives with search controllers, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1996. - Vol. 11.
2. Pires W. and Mello H., Minimization of Losses in Converter-Fed Induction Motors-Optimal Flux Solution, *WEG Equipamentos Elétricos S.A. - Motores*.
3. Sarah H. Issa R., Modelling, simulation and test of inverter-fed induction motor drive system with improved performance, *Assiut university journal of science*, 2005. - Vol. 33.
4. Sarhan H., Al-Issa R. and Jaber Q., Loss-Minimization of Scalar Controlled Induction Motor Drives, *Department of Mechatronics Engineering, Al-Balqa' Applied University*.
5. Радин В., Брускин Д. и Зорохович А., *Электрические машины - Асинхронные машины, Москва "Высшая школа", 1988.*

8. Приложение

Използвани означения

| | |
|------------------------|--|
| $\Delta P_{rot}, W$ | Пълни загуби |
| R_1, Ω | Статорно съпротивление |
| R_2, Ω | Роторно съпротивление |
| I_1, A | Статорен ток |
| I_2, A | Роторен ток |
| I_0, A | Намагнитващ ток |
| I_{en}, A | Номинален намагнитващ ток |
| $\Delta P_{mag}, W$ | Номинални магнитни загуби |
| $\phi = \Phi / \Phi_n$ | Относителен поток |
| Φ, Wb | Работен поток |
| Φ_n, Wb | Номинален поток |
| $\alpha = f / f_n$ | Относителна честота |
| f, Hz | Работна честота |
| f_n, Hz | Номинална честота |
| k | Коефициент, зависещ от вида на стоманата, използвана в централната конструкция |
| $\mu = T / T_n$ | Момент на натоварване |
| $T, N.m$ | Номинален момент на натоварване |
| $T_n, N.m$ | Номинална електромагнитна мощност |
| P_{mag}, W | Номинално е.д.н. |
| E_{in}, V | Номинална входна мощност |
| P_{in}, W | Номинален статорен ток |
| I_{in}, A | Номинална изходна мощност |
| P_n, W | Синхронна скорост |
| $\omega_p, rad/s$ | Коефициенти на аналитичната апроксимация на кривата на намагнитване |
| a, b | Номинално статорно напрежение |
| Y_n, V | |

Department of Control Systems

Technical University-Sofia, Branch Plovdiv

25 Tsanko Dyustabanov St., 4000 Plovdiv

E-mail: ijk@tu-plovdiv.bg, janacvetkova9@gmail.com,

kkirgkov@gmail.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕВЕРСИВНИ ПОСТОЯННОТОКОВИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ СЪС СЪВМЕСТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ВЕНТИЛИТЕ

Иван Костов, Десислав Белев, Надя Спасова

Резюме. За реализацията на реверсивни постояннотоккови електрозадвижвания най-често се използват тиристорни преобразуватели, които работят със съвместно или с разделено управление на групите вентили. В статията са анализирани статични и динамични свойства на реверсивни електрозадвижвания със съвместно управление на групите вентили. Разгледани са два начина за съгласуване на ъглите на управление при отворена и затворена система –

линейно и нелинейно съгласуване. Изследвани са особеностите на преходните процеси на уравнилителното напрежение и уравнилителен ток за различни експлоатационни режими.

1. Въведение

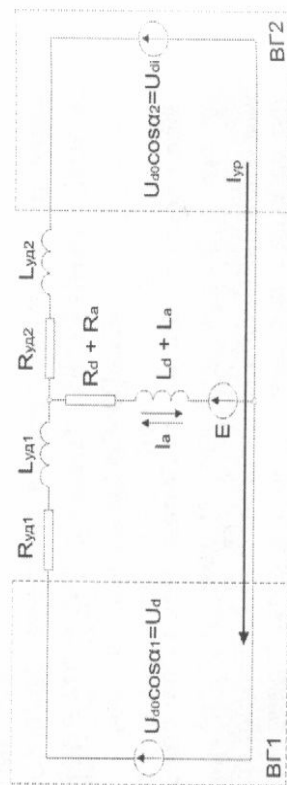
Тиристорните преобразуватели с естествена комутация осъществяват запущването на вентилите си чрез променливото напрежение на захранващата мрежа. Поради тази причина се наричат зависимими преобразуватели, водени от мрежата [1,4]. Регулирането на средната стойност на изходното им напрежение се постига посредством изменение на фазовия ъгъл на управляващите импулси. Съвременните технически решения на реверсивни електрозадвижвания се осъществяват с две групи тиристорни преобразуватели (ТП). Съвместната им работа съпътства с редица особености, най-характерната от които е необходимостта от управление на изходното им напрежение [2,3]. Известни са два вида управление на вентилите групи – съвместно и разделено, както и комбинация от двата вида. При съвместното управление едновременно работят двете вентилни групи на преобразувателя – едната в изправителен режим, а другата – в инверторен режим.

Съобразяването с особеностите, предизвикани от различните тиристорни преобразуватели има важно практическо значение при проектирането на електрозадвижването. Познаването на процесите в тези електрозадвижвания позволява да се използват максимално възможностите им за експлоатация в икономични режими [2].

Тази статия представя симулационен модел на затворена реверсивна каскадна схема за управление на двигателя за постоянен ток с електромагнитно възбуждане, който отразява особеностите на действителна промишлена реализация на електрозадвижване.

2. Реверсивен преобразувател със съвместно управление на вентилите

Еквивалентната заместваща схема на силовата част на реверсивна система ТП - ДПТ със съвместно управление на вентилните групи дадена на фиг.1 [1]:



Фиг.1. Еквивалентна заместваща схема на силовата част на реверсивна система ТП - ДПТ със съвместно управление на двете вентилни групи.

С BG1 и BG2 са означени двете вентилни групи, а с R_{yd1} , R_{yd2} и L_{yd1} , L_{yd2} – съответно активните съпротивления и индуктивностите на уравнилителните дросели. R_d и L_d са активното съпротивление и индуктивността на изглаждащия дросел, I_a и E са котвеният ток и електродвижещото напрежение от въртене на двигателя.

За да се предотврати предаване на енергия от групата, работеща в изправителен режим през групата, работеща в инверторен режим – към захранващата мрежа, е необходимо да се спазва условието:

$$U_{d1} \geq U_d \quad (1)$$

Неравенство (1) се отнася до средните стойности на напреженията на двете вентилни групи. Поради разлика в моментните стойности на напреженията U_{d1} и U_d , съществува уравнилително напрежение, което създава уравнилителен кръгов ток между двете вентилни групи. Това се вижда и от еквивалентната схема на фиг.1.

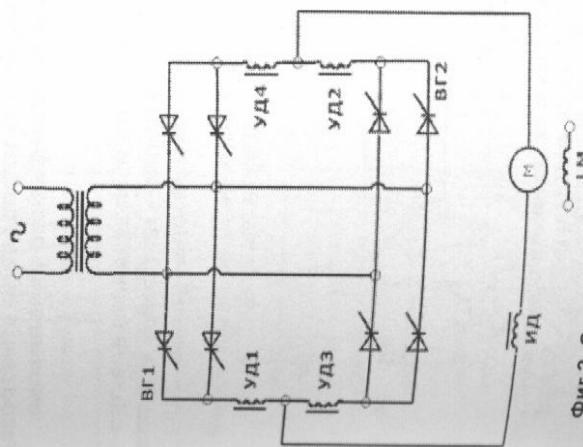
Съвместното управление с линейно съгласуване на вентилните групи се нарича още съвместно съгласувано управление. При него двете вентилни групи се управляват така, че средната стойност на уравнилителното напрежение U_{yp} за един период на захранващото напрежение се нулира. Условието за линейно съгласуване на двете вентилни групи в този случай е:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi \quad (2)$$

При линейното съгласуване в уравнилителния контур протича значителен ток поради разликата

напреженията на двете вентилни групи. В зависимост от U_{yp} този ток може да има прекъснат или начално - непрекъснат характер. Разликата между моментните стойности на напреженията на двете вентилни групи зависи както от стойностите на ъглите на управление α_1 и α_2 , така и от силовата схема на конкретния ТП.

Ограничаване на уравнилителния ток, което от своя страна води до намаляване на мощността и габаритите на уравнилителните дросели, може да се осъществи посредством нелинейно съгласуване на вентилните групи. Съвместното управление с нелинейно съгласуване на вентилните групи се нарича още съвместно несъгласувано управление. При него се спазва следното условие:

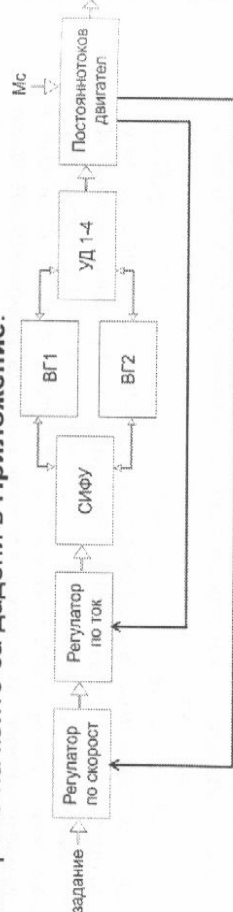


Фиг.2. Силова схема на реверсивна система ТП - ДПТ с насрещно-паралелна схема на свързване на вентилните групи – еднофазна мостова схема.

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi + \xi > \pi, \quad (3)$$

където ξ е параметър, който може да се регулира автоматично в зависимост от големината на уравнилния ток. Ограничаването на уравнилния ток води до появата на прекъснат ток в котвата на двигателя при малките натоварвания, което влошава до известна степен свойствата на електрозадвиж-ването.

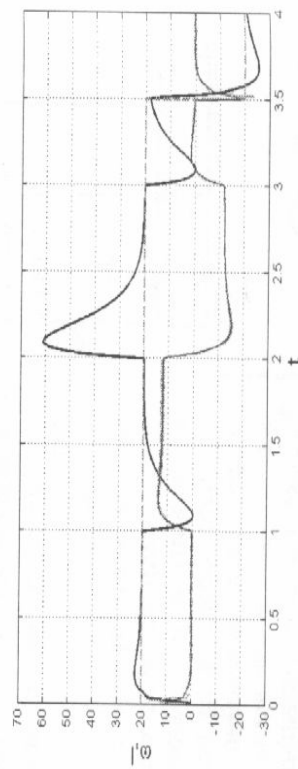
На фиг.2 е показана силовата схема на еднофазна насреци паралелна схема на постояннотоково електрозад-вижване с четир уравнилни дросела УД1-4 и изглаждащ дросел ИД, а на фиг.3 е показана вътрешната му структура, включително регулиране по ток, а рост и системата за импулсно-фазово управ-ление. Представената на фиг.3 структура е основа на изследвания симулационен модел, параметрите на който са дадени в Приложение.



Фиг.3. Структура на модела на каскадното реверсивно електрозадвижване. СИФУ – система за импулсно-фазово управление.

3. Симулационни резултати

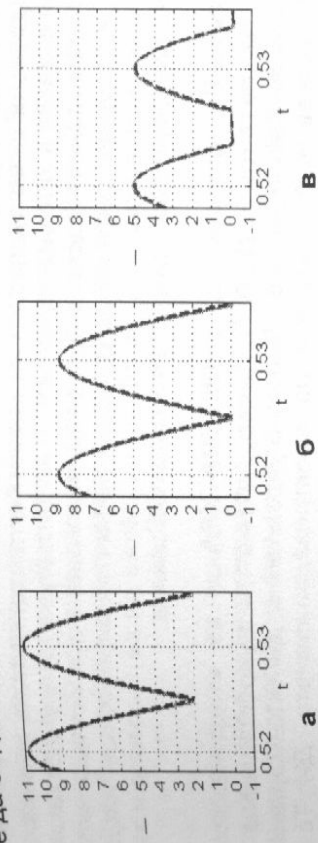
На фиг.4 са показани преходни процеси на изследваното електрозадвижване в различни експлоатационни режими – на празен ход, при натоварване и реверсиране в двигателен и генераторен режим. Заданото по скорост е 100 г/мин.



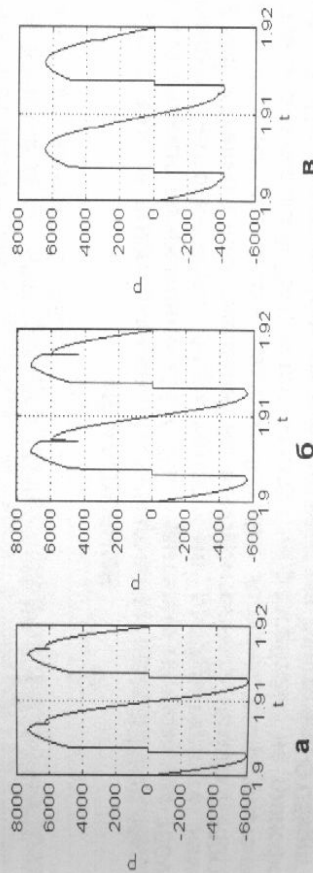
Фиг.4. Преходни процеси на скоростта и тока в затворената реверсивна система по задание и смущение. $\omega_{зад}=100$ г/мин; $M_c=\pm 15$ Nm; $\xi=0^\circ$; t, s; $M_w=1:5$.

На фиг.5 са показани уравнилни токове в изследваното електрозадвижване на празен ход. Резултатите показват големи уравнилни токове при отрицателни ъгли на съгласуване, режима на начал

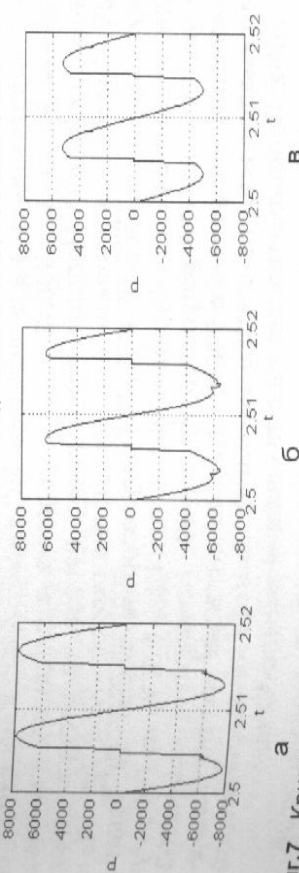
непрекъснат ток при линейно съгласуване и прекъснатия ток при ъгъл на нелинейното съгласуване $\xi = 53^\circ$. На фиг.6 и фиг.7 са показани моментните стойности на мощността в двигателен и генераторен режим с $M_c=\pm 15$ Nm и задание по скорост 1000 г/мин. При нелинейното съгласуване, консумираната и отдаваната моментна стойност на мощността може да бъде ограничена ефективно.



Фиг.5. Уравнилни токове в затворената система на празен ход. а) $\xi=4^\circ$; б) $\xi=0^\circ$; в) $\xi=53^\circ$. $\omega_{зад}=100$ г/мин; t, s.



Фиг.6. Криви на моментната стойност на мощността в двигателен режим. а) $\xi=4^\circ$; б) $\xi=0^\circ$; в) $\xi=53^\circ$. $\omega_{зад}=1000$ г/мин; $M_c=15$ Nm; t, s.



Фиг.7. Криви на моментната стойност на мощността в генераторен режим. а) $\xi=4^\circ$; б) $\xi=0^\circ$; в) $\xi=53^\circ$. $\omega_{зад}=1000$ г/мин; $M_c=-15$ Nm; t, s.

4. Заключение

Представени са симулирани експерименти с реверсивно тиристорно електрозадвижване при съвместно управление на вентилите.

Направена е оценка на зависимостта на уравнилителните токове $I_{\text{ср}}$ на съгласуване на управлението.

Получени са зависимости на моментната стойност на мощността $P_{\text{м}}$ задвижването в зависимост от $I_{\text{ср}}$ на съгласуване на управлението. Анализираният модел е подходящ използване при синтеза на задвижвателни и отворени системи за управление на постоянноотоккови и променливотокови задвижвания и за обучение. Може да се използва и за анализ на аварийни режими в електрозадвижванията.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наплатанов Н. Д., Р. П. Личев, Автоматично управление на електрозадвижванията – том 3, Вентилно управление, ДИ Техника, С. 1981.
2. Ключев В. И., Теорията на електрозадвижването, ДИ Техника, С. 1989.
3. Krishnan R., Electric Motor Drives. Modeling, Analysis, and Control Pearson Education, 2003.
4. Минчев Д. С., Автоматично управление на електрозадвижванията – том 2, ДИ Техника, С. 1988.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Двигател за постоянен ток: Номинална мощност-3730W; Номинално захранващо напрежение-220V; Възбудително напрежение-150V; Номинална честота-50Hz; Индуктивност на възбудителната намотка-112.5H; Активно съпротивление на възбудителната намотка-150Ω; Индуктивност на котвената намотка-0.016H; Активно съпротивление на котвената намотка-0.78Ω; Индуктивност на разсейване на трансформатора-1.234H; Сумарен инерционен момент на двигателя-0.05kgm². **Двигателна верига:** Индуктивност на изглаждащия дросел-50mH; Индуктивност на уравнилителните дросели-80mH. **Преобразувател:** Съпротивление на защитната RC-верига-2kΩ; Капацитет на защитната RC-верига-900nF; Съпротивление в отпушено състояние на тиристорите-1mΩ; Напрежение в права посока на отпушен тиристор-1.3V. **Система за управление:** Номинална скорост-1750 r/min; K_p на ПИ регулатор на скорост-10; K_i на ПИ регулатор на скорост-50; Задатчик на интензивност-±40 g/s²; Ограничение по ток $I_{\text{а}}/I_{\text{ан}}-1.5$; K_p на ПИ регулатор на ток-1; K_i на ПИ регулатор на ток-80; Номинална мощност-3.7kW; Номинално напрежение-240V; Минимален γ при отпушване-20°; Максимален γ при отпушване-160°el; Честота на захранващата мрежа-50Hz; Продължителност на отпушващия импулс-10°el.

Department of Control Systems
Technical University-Sofia, Branch Plovdiv
25 Tsanko Dyustabanov St. 4000 Plovdiv, BULGARIA
E-mail: ijk@tu-plovdiv.bg, steysy@abv.bg, desislavbelev@abv.bg

УЛТРАЗВУКОВИ РАЗХОДОМЕРИ. КЛАСИФИКАЦИЯ. ПРЕДИМСТВА И ПРИЛОЖЕНИЕ

Янка Кисова, Николай Паунков

Кратко резюме. Разходомерите са основен елемент в системите за автоматичен контрол на разхода на веществата. В доклада е представен накратко принципът на действие на ултразвуковите разходомери. Показани са основните видове, като са разгледани техните предимства и условия за приложението им.

1. Основни понятия.

Разходомерите са уреди, чрез които се измерва обемния или масовия разход на веществата.

Обемният разход на веществата е възприето да се бележи с Q_0 ;

$$Q_0 = \frac{V}{t}; \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (1),$$

където V е обема на веществото измерван в кубични метри или сантиметри, а t - времето в часове или секунди

Масовият разход на веществата се бележи с Q_m :

$$Q_m = Q_0 \cdot \rho = \left[\frac{m^3}{h} \cdot \frac{kg}{m^3} \right] = \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (2),$$

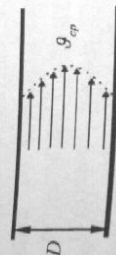
където ρ е плътността на газа или течността; $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$Q_m = \frac{V}{t} \cdot \rho = \frac{S \cdot g_{\text{ср}} \cdot t}{t} \cdot \rho = g_{\text{ср}} \cdot S \cdot \rho \quad (3),$$

$$g_{\text{ср}} = \frac{Q_m}{\rho \cdot S}; \left[\frac{kg}{h \cdot m^2} \right] \quad (4),$$

където $g_{\text{ср}}$ е средната скорост на флуида, а S – сечението на тръбата, през която той преминава [5]

По отношение на скоростта на флуида потокът може да бъде ламинарен или турбулентен. "Ниската" скорост определя ламинарен поток (Фиг. 1), а "Високата" определя турбулентен поток (Фиг. 2).



Фиг. 1



Фиг. 2

Дали потокът е ламинарен или турбулентен, се определя от числото на Рейнолдс – Re.