

УДК 621.316.71

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПНЕВМОСИСТЕМ

Катюха А.А., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-23-41

Клендїй П.Б., к.т.н.,

Клендїй Г.Я., інженер.

ВПНУБіП України Бережанський агротехнічний інститут

Тел. (03548) 2-14-51

Анотація – в статті розглянуто реалізацію векторного способу керування частоти обертання асинхронного електродвигуна приводу вентиляційної установки пневмосистем та побудовано функціональну схему асинхронного регульованого електропривода з підтриманням закону керування $\psi_2 = \text{const}$.

Ключові слова: закон керування, частотно-регульований електропривод, асинхронний електродвигун.

Постановка проблеми. Для енергоефективної роботи пневмосистеми потрібно регулювати частоту обертання робочого колеса вентиляційної установки, змінюючи кутову швидкість ротора асинхронного двигуна [1]. При цьому можна використовувати закони першого рівня, в яких підтримується постійними відношення величини і частоти напруги від якої живиться електродвигун. Але ці закони можна використовувати тоді, коли відомо наперед, яка частота обертання вентилятора потрібна в певні моменти часу.

Аналіз останніх досліджень. Навантаження пневмомережі змінюється за долі секунди і стохастично, а значення його визначається електромагнітною потужністю електродвигуна

$$(M_e - M_m) \cdot \omega = \frac{H \cdot Q}{\eta_n \cdot \eta_m \cdot 3600 \cdot 102} \quad (1)$$

де H – напір вентилятора, Па;

Q – витрата повітря, м³/год.

η_n – коефіцієнт корисної дії передачі;

η_m – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

M_e – електромагнітний момент електродвигуна, Нм;
 M_m – механічні втрати моменту електродвигуна, Нм;
 ω – кутова швидкість вентилятора, с^{-1} ;

Параметри H і η_m , що отримуються експериментальним способом або із довідкової літератури і апроксимуються наступними виразами:

$$H = -A \cdot Q^2 + B \cdot Q \cdot \omega + C \cdot \omega^2; \quad (2)$$

$$\eta_m = -D \cdot \omega^2 + E \cdot \omega + F \cdot Q^2 + G \cdot Q + L, \quad (3)$$

де A, B, C, D, E, F, G, L – коефіцієнти апроксимації, які визначаються для конкретного вентилятора.

В системі регулювання частоти обертання вентилятора потрібно використовувати закони другого рівня. До них відносяться закони, при яких забезпечуються постійні значення різних магнітних потокозчеплень асинхронного двигуна: статора ψ_1 (відповідає постійному значенню відношення $E_{\text{зовн}}/f$), повітряного зазору ψ_0 (E/f), ротора $\psi_2(E_{\text{внутр.1}}/f)$.

Для визначення основних співвідношень асинхронного електродвигуна при різних законах частотного регулювання використовуємо Т-подібну схему заміщення електродвигуна із змінними параметрами при частотному регулюванні.

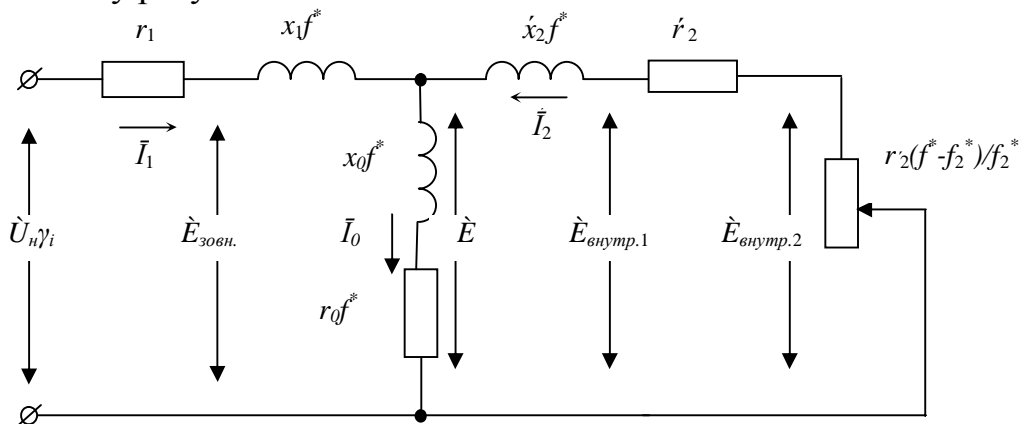


Рис. 1. Схема заміщення асинхронного короткозамкненого електродвигуна із змінними параметрами при частотному керуванні.

В наведеній схемі заміщення (рис. 1) всі опори за виключенням активних опорів обмоток статора r_1 і ротора r_2 змінюються пропорційно коефіцієнту

$$f^* = f_i/f_{1н},$$

де f_i – поточне значення частоти;

$f_{1н}$ – номінальне значення частоти перетворювача.

Прикладена напруга змінюється пропорційно коефіцієнту:

$$\gamma = U_i/U_{1н},$$

де U_i – поточне значення напруги, В;

$U_{1н}$ – номінальне значення напруги перетворювача, В.

Навантаження на валу електродвигуна еквівалентне приведенному опору, який залежить від коефіцієнта f^* і коефіцієнта абсолютного ковзання

$$f_2^* = f_2/f_{1н} = f^* \cdot s,$$

де f_2 – частота ротора;

s – ковзання двигуна.

Формулювання цілей статті. Завданням є обґрунтування раціонального закону керування частотно-регульованим електроприводом вентиляційної установки пневмосистем.

Основна частина. При значних змінах ковзання на робочому відрізьку механічної характеристики для врахування електромагнітних перехідних процесів, а також при пусках електродвигуна застосовують моделі, що реалізують систему диференціальних рівнянь, які пов'язують вектори струмів, напруг і потокозчеплень, представлених у системі координат d, q [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{1d} = r' i_{1d} + T_l' \frac{di_{1d}}{dt} - l_1' f^* i_{1q} - \frac{r_2}{T_2} \psi_{2d} - k_2 \omega^* \psi_{2q}; \\ u_{1q} = r' i_{1q} + T_l' \frac{di_{1q}}{dt} - l_1' f^* i_{1d} - \frac{r_2}{T_2} \psi_{2q} - k_2 \omega^* \psi_{2d}; \\ 0 = -k_2 r_2 i_{1d} + \frac{1}{T_2} \psi_{2d} + \frac{d\psi_{2d}}{dt} - (f^* - \omega^*) \psi_{2q}; \\ 0 = -k_2 r_2 i_{1q} + \frac{1}{T_2} \psi_{2q} + \frac{d\psi_{2q}}{dt} + (f^* - \omega^*) \psi_{2d}; \\ \mu = k_2 (\psi_{2d} i_{1q} - \psi_{2q} i_{1d}); \\ \mu - \mu_c = T_\mu \frac{d\omega^*}{dt} \end{array} \right. \quad (4)$$

при $t = t_0$, $i_{1d} = i_{1d0}$, $i_{1q} = i_{1q0}$, $\psi_{2d} = \psi_{2d0}$, $\psi_{2q} = \psi_{2q0}$,

$$\text{де } r_1' = r_1 + k_2^2 r_2, T_l' = \frac{l_1'}{r_1}; T_2 = \frac{L_{2\sigma}}{R_2}; L_{2\sigma} = L_2 + L_m.$$

При реалізації векторного способу керування частоти обертання асинхронного електродвигуна, коли $\psi_2 = \text{const}$, перші чотири рівняння (4) в операторній формі запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned}
U_{1d} &= i'_{1d} r'_1 (1 + pT_1') - f^* l'_1 i_{1q} - \frac{r'_2}{T_2} \psi_{2d}; \\
U_{1q} &= i'_{1q} r'_1 (1 + pT_1') + f^* l'_1 i_{1d} + \kappa_2 \omega^* \psi_{2d}; \\
0 &= -\kappa_2 i_{1d} r_2 + \frac{1}{T_2} \psi_{2d} + p \psi_{2d}; \\
0 &= -\kappa_2 i_{1q} r_2 + (f^* - \omega^*) \psi_{2d};
\end{aligned} \tag{5}$$

З третього і четвертого рівнянь системи (5) отримаємо:

$$\begin{aligned}
\psi_{2d} &= \frac{k_2 r_2 T_2 i_{1d}}{T_2 p + 1}; \\
f_c^* &= \omega^* + \frac{k_2 r_2 T_2 i_{1q}}{\psi_{2q}}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Момент електродвигуна при векторному керуванні

$$\mu = k_2 \psi_{2d} i_{1q}. \tag{7}$$

Враховуючи (5), (6) і (7) та рівняння руху електропривода, побудовано функціональну схему асинхронного регульованого електропривода з підтриманням $|\psi_2| = \text{const}$, яка приведена на рис. 2.

Вектор потокозчеплення ротора рахується за відомим значенням потокозчеплення $\bar{\psi}_2 = \frac{1}{k_2} (\bar{\psi}_1 - \bar{I}_1 l'_1)$, а в нерухомих координатах a, b

$$\begin{aligned}
\psi_{2a} &= (1 + l_2) \int_0^\tau (U_a - i_a r_1) d\tau - i_{1a} l'_1 (1 + l_2); \\
\psi_{2b} &= (1 + l_2) \int_0^\tau (U_b - i_b r_1) d\tau - i_{1b} l'_1 (1 + l_2).
\end{aligned} \tag{8}$$

Модуль потокозчеплення і кутове положення визначають співвідношеннями:

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2a}^2 + \psi_{2b}^2}; \quad \cos \theta = \frac{\psi_{2a}}{|\psi_2|}; \quad \sin \theta = \frac{\psi_{2b}}{|\psi_2|} \tag{9}$$

При реалізації $\psi_2 = \text{const}$ величина потокозчеплення розраховується за формулою

$$\psi_{2H} = \frac{\sqrt{2} I_n L_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_2 2\pi f_1 s_n}{P_n} \right)^2}}. \tag{10}$$

Оскільки $M = \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2a} i_{1b} + \psi_{2b} i_{1a})$, то $M\omega = P$, а $P = kQH$, то

$Q = \frac{P}{kH}$ при векторному керуванні $M = \frac{L_m}{L} \psi_{2m} i_{1q}$.

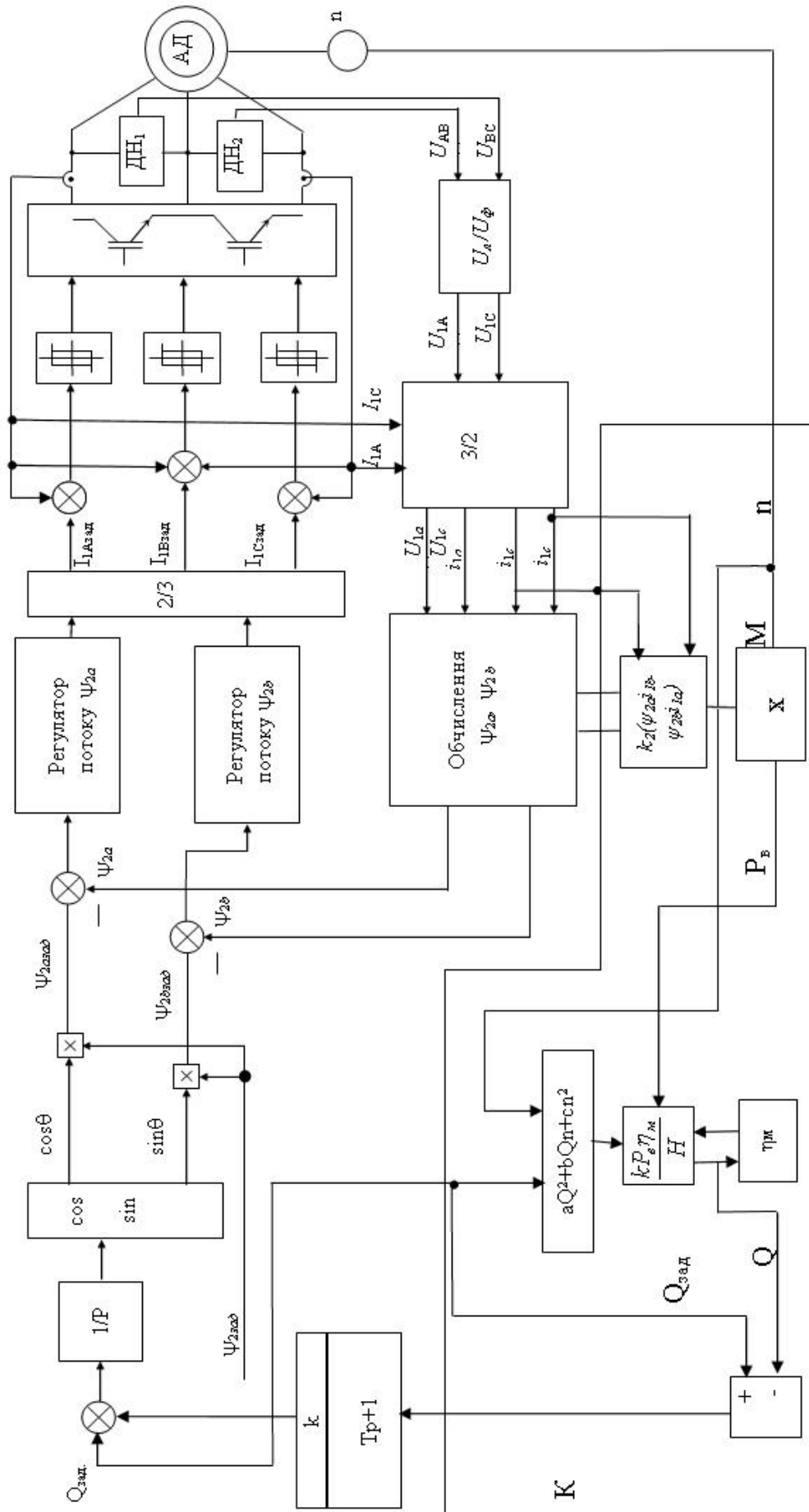


Рис. 2. Функціональна схема асинхронного електропривода з підтримкою $\psi_2 = const$.

Реалізація корекції заданого значення швидкості (продуктивності вентиляційної установки) при зміні навантаження здійснюється схемою К (рис. 2), яка є складовою системи управління електроприводом.

Схема складена на основі синтезу наступних рівнянь. Електромагнітний момент електродвигуна при відомих потокозчепленнях і струмах в нерухомій системі координат визначається за виразом

$$M = k_2(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}), \quad (11)$$

а потужність виражається формулою (1).

Потужність на валу електродвигуна з урахуванням механічних витрат визначається виразом

$$P_g = (1 - k_{\text{мех}})P. \quad (12)$$

Якщо $Q_{\text{зад}} - Q \neq 0$, то коректується значення заданої швидкості обертання, при $Q_{\text{зад}} - Q = 0$ така корекція не проводиться.

Важливим параметром режимів роботи продуктопроводів є швидкість руху аеросуміші або продуктивність.

Якщо задається продуктивність $Q_{\text{зад}}$, яка забезпечує швидкість руху аеросуміші такою, щоб з однієї сторони не виникав завал продуктопровода, а з іншої забезпечувалися мінімальні витрати енергії на реалізацію режиму, що за виразом (2) можна вирахувати значення напору вентиляційної установки $H_{\text{зад}}$. З виразів (12) і (1) при відомому значенню потужності, яку споживає вентиляційна установка, та її коефіцієнту корисної дії визначається значення продуктивності

$$Q = \frac{kP_g\eta_M}{H_{\text{зад}}}. \quad (13)$$

У блоці η_M схеми К вираховується значення ККД вентиляційної установки при відомому значенні Q .

Висновок. Реалізація закону $\psi_2 = \text{const}$ в частотно-регульованому електроприводі пневмосистем дозволяє безпосереднє керування моментом електродвигуна і при цьому якість керування в статичних і динамічних режимах суттєво підвищується в порівнянні з іншими законами.

Література.

1. *Клендій П.Б.* Оцінка зменшення енергоємності пневмотранспортних установок шляхом дроселювання і регулювання частоти обертання вентилятора / *П.Б. Клендій, Г.Я. Клендій* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2008. – № 1. – С.55-61.

2. *Корчемний М.О.* Дослідження асинхронного електропривода за допомогою математичного моделювання / *М.О. Корчем-*

ний // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К.: Урожай, 1971. – 76 с.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПНЕВМОСИСТЕМ

Катюха А.А., Клендий П.Б., Клендий Г.Я.

Аннотация

В статье рассмотрена реализация векторного способа управления частоты вращения асинхронного электродвигателя привода вентиляционной установки пневмосистем и построена функциональная схема асинхронного регулируемого электропривода с поддержанием закона управления $\psi_2 = \text{const}$

CONTROL LAW GROUND OF FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC VENTILATION UNITS PNEUMATIC SYSTEMS

A. Katyuha, P. Klendiy, H. Klendiy

Summary

Realization of vector method of management of frequency of rotation of asynchronous electric motor of occasion of a vent setting of pneumatic systems is considered in the article and the functional diagram of asynchronous managed electrical drive is built with maintenance of management law $\psi_2 = \text{const}$.