

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний при випробуваннях електричних машин постійного струму, а також на машинобудівних підприємствах. Випробування електричних машин постійного струму під навантаженням, як правило здійснюється при наявності двох електричних машин, зв'язаних між собою механічно (за допомогою муфти або редуктором безпосередньо). Такі системи є малоефективними при проведенні після ремонтних випробувань електричних машин різного типоміналу, так як потребують демонтажу і встановлення на випробному стенді.

Відомий спосіб навантаження двигунів постійного струму динамічним навантаженням (пат. ДДР G01R31/34 №216331, Спосіб перевірки під навантаженням двигуна постійного струму), здійснюваний шляхом формування низькочастотної напруги, виміру струму якоря і напруги живлення, визначення діагностичних ознак за допомогою виміру кута повороту в одному й іншому напрямках обертання при зміні полярності прикладеної напруги. Модифікація цього методу включає розробку моделі - двигуна постійного струму аналогічного випробуваній конструкції, фіксування навантажувальних параметрів випробуваного двигуна і моделі, порівняння отриманих результатів при встановлених для іспиту допусках.

Недолік способу: на якір машини подається напруга, від якої залежать навантажувальні параметри - струм і швидкість, але в процесі навантаження не можуть бути сформовані так, як необхідно для створення режиму роботи, з еквівалентними втратами, близькими до номінальних.

Відомий спосіб і пристрій не дозволяють відображати параметри навантажувального режиму, у пристрої, який реалізує спосіб необхідна фізична модель двигуна, що не завжди можливо, тому що при широкій номенклатурі ремонтних машин необхідний цілий парк таких моделей; при циклічній зміні напрямку обертання двигуна (із середнім значенням швидкості, близьким до нуля) можливі такі частоти впливу, при яких колекторні пластини і якірні обмотки навантажуються струмом нерівномірно. Очевидно, що достовірної діагностики параметрів двигуна при цьому не буде.

Відомий пристрій контролю температури вузлів електричної машини постійного струму (АС №1229883 (51) МКИ H02H5/04 07.05.1986 Бюл. №17 Пристрій для контролю температури електроустановки постійного струму), у якому діагностика параметрів електричної машини здійснюється шляхом контролю температури струмоведучих частин машини, при її роботі під навантаженням за допомогою відповідних датчиків струму. При цьому інші параметри електричної машини не контролюються. Таким чином, недоліком пристрою, є недостовірність процесу контролю температури, тому що температура машини визначається не тільки втратами енергії на омичному опорі струмоведучих частин машини.

Відомий спосіб навантаження двигунів постійного струму незалежного збудження, при якому в процесі навантаження задаються постійні значення напруг якоря і струму збудження. Для створення навантажувального режиму напруга збудження задається з деякою змінною складовою. Динамічна складова струму якоря, при цьому, утворюється як частка змінної складової напруги живлення двигуна і комплексного опору ланцюга якоря (Спосіб навантаження двигунів постійного струму і пристрій для його здійснення. АС СРСР, 1563410 G01R31/34).

Відоме технічне рішення навантаження двигунів постійного струму без механічного сполучення валу двигуна з додатковою навантажувальною машиною [М. Кл.⁵ G01R31/34 №40067A 16.07.2001 Бюл. №6 Спосіб динамічного навантаження двигуна постійного струму незалежного збудження та пристрій для його здійснення]. Навантаження здійснюється шляхом формування залежності струму якоря та кутової швидкості якоря, визначають залежності для напруг на якірі та обмотці збудження, змінюють кут здвигу фаз між змінними складовими струму якоря та кутової швидкості з певним інтервалом, за отриманими даними роблять висновок про експлуатаційну придатність випробувальної електричної машини.

Зазначений винахід приймається авторами як прототип у силу того, що він має з заявленим винаходом загальні операції й ознаки:

- машину підключають до регульованого перетворювача напруги;
- за допомогою зміни амплітуди і частоти періодичного впливу домагаються навантаження машини заданим ефективним струмом якоря.

В основу винаходу поставлено задачу формування способу іспиту двигунів постійного струму незалежного збудження, шляхом формування постійних та періодичних впливів на ланцюги якоря і збудження.

Поставлена задача вирішується наступним чином:

- визначається залежність потоку машини, при якому реалізується зміна швидкості у часі, при заданому значенні струму якоря;
- на силові перетворювачі в колі збудження та в колі якоря подаються сигнали пропорційні відповідним розрахунковим значенням напруг;
- на підставі параметрів навантажувального режиму роблять висновки про працездатність випробовуваної машини.

Від відомого способу навантаження пропонований спосіб відрізняється тим, що закони зміни струму якоря та швидкості визначаються в залежності від інтервалу діаграми навантаження.

Докладно принцип функціонування системи можна пояснити наступними фігурами:

Фіг.1. Діаграма навантаження.

Фіг.2. Алгоритм навантаження.

Фіг.3. Блок-схема пристрою навантаження.

Фіг.4. Блок-схема обчислювального блоку пристрою навантаження.

Алгоритм навантаження приведений на фіг.2. Відповідно до номінальних даних електричної машини та тахограми навантаження (фіг.1) задаються закони зміни швидкості та струму якоря, які можна записати універсальними залежностями

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{k=m} \omega_k \cos k\Omega t;$$

$$I(t) = \sum_{k=0}^{k=m} I_k \cos(k\Omega t - \varphi_k).$$

Залежність струму в часі представимо у вигляді

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{J}{k\Phi} \cdot \frac{d\omega'(t)}{dt} + \frac{M_c}{k\Phi};$$

$$\omega'(t) = \omega_{\text{т}}(t) + \omega_{\text{н}}(t),$$

де $\omega_{\text{т}}(t)$ - технологічна швидкість двигуна.

$\omega_{\text{н}}(t) = \Delta\omega_{\text{н}} \sin \Omega_m t$ - складова швидкості, що викликана динамічним навантаженням;

Ω_m - кругова частота;

$\Delta\omega_{\text{н}}$ - амплітудне значення динамічної складової швидкості.

Для наведеної навантажувальної діаграми (фіг. 1) вираз для ефективного значення струму має вид

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_n}},$$

де t_n - час паузи.

Значення струму на першій ділянці тахограми

$$I_1 = \frac{J \frac{\omega_{\text{т}}}{t_1} + M_0}{k\Phi},$$

де M_0 - момент холостого ходу двигуна.

Таким чином необхідна величина коефіцієнта потоку двигуна

$$k\Phi_1 = \frac{J \frac{\omega_{\text{т}}}{t_1} + M_0}{I_1}.$$

На третій ділянці уповільнення значення коефіцієнта потоку

$$k\Phi_3 = \frac{-J \frac{\omega_{\text{т}}}{t_3} + M_0}{I_3} \leq k\Phi_{\text{н}}.$$

На другій ділянці роботи з незмінною швидкістю струм якоря буде дорівнювати струму холостого ходу:

$$I_0 = \frac{M_0}{k\Phi}.$$

Таким чином ефективний струм досліджуваного двигуна буде дорівнювати:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_0^2 t_2 + I_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_n}} < I_{\text{ет}},$$

де $I_{\text{ет}}$ - значення еквівалентного струму, що відповідає технологічному процесу.

Нерівність $I_e < I_{\text{ет}}$ обумовлена тим, що на ділянці рівномірного руху струм якоря визначається тільки моментом холостого ходу. Якщо в цей період здійснювати додатково й динамічне навантаження, то вираз для I_e набуде вигляду

$$I'_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_0^2 t_2 + I_{\text{н}}^2 t_2 + I_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_n}}.$$

Прийнявши $I'_e = I_{\text{ет}}$ визначимо струм динамічного навантаження

$$I_{\text{н}} = \sqrt{\frac{I_{\text{ет}}^2 (t_1 + t_2 + t_3 + t_n) (I_1^2 t_1 + I_0^2 t_2 + I_3^2 t_3)}{t_2}}.$$

Це значення може бути отримане шляхом дії на якірний ланцюг складним сигналом, який складається з постійної складової та змінної з частотою Ω_m для $t_1 + t_2 \geq t \geq t_1$. Частота дії визначається параметрами двигуна

$$\Omega_m \cong \frac{1}{\sqrt{L_{\Sigma} \cdot C}} = \frac{k\Phi}{\sqrt{L_{\Sigma} \cdot J}}.$$

Визначимо напругу на кожній ділянці тахограми.

Напруга на затискачах якоря

$$U(t) = L_{\Sigma} \frac{dI(t)}{dt} + R_{\Sigma} \cdot I(t) + k\Phi \cdot \omega(t).$$

Напруга якоря на ділянках t_1, t_3 буде дорівнювати

$$U_{Я_1}(t) = I_{Я} R_{\Sigma} + \frac{k\Phi_1^2}{J} (I_{Я} - I_0) t \Big|_0^{t_1},$$

$$U_{Я_3}(t) = I_{Я} R_{\Sigma} + \frac{k\Phi_3^2}{J} (I_{Я} - I_0) t \Big|_{t_2}^{t_3}.$$

Напруга якоря на ділянці I_3 матиме вигляд

$$U(t) = U_0 + U_H \sin(\Omega t + \theta),$$

де $U_0 = I_0 R_{\Sigma} + k\Phi\omega_m$ - постійна складова напруги живлення досліджуваного двигуна.

$$U_H = \sqrt{2} I_H \sqrt{R_{\Sigma}^2 + \left(\Omega_m L_{\Sigma} - \frac{1}{\Omega_m C}\right)^2} - \text{змінна складова напруги живлення.}$$

де U_H - амплітудне значення змінної складової напруги.

При випробуванні електричної машини крім дотримання діаграм струму та швидкості необхідно також, щоб виконувалась умова і теплового режиму, тобто втрати енергії машини повинні знаходитись в гранично допустимих межах порівняно з відповідними втратами при технологічному процесі.

Сумарні втрати енергії в технологічному режимі

$$\Delta W_{\Sigma T} = \Delta W_{MT} + \Delta W_{CT},$$

Сумарні втрати в режимі випробування

$$\Delta W_{\Sigma B} = \Delta W_{MB} + \Delta W_{CB},$$

де $\Delta W_{MT} = (I_{\Sigma}^2 \cdot R_{Я} + I_{BH}^2 \cdot R_B) \cdot T_{\Sigma}$ - сумарні втрати енергії в міді машини при технологічному процесі;

$$\Delta W_{MB} = (I_{\Sigma}^2 \cdot R_{Я} + I_B^2 \cdot R_B) \cdot T_{\Sigma} \text{ сумарні втрати енергії в міді машини при випробуванні;}$$

$$\Delta W_{CT(t)T} = \int_0^{T_{\Sigma}} (a_1 I_{BH}^2 + a_2 I_{BH} \cdot u(t)_T + a_3 u^2(t)_T) dt$$

- магнітні втрати пов'язані з процесом перемагнічування сталі

якоря в технологічному режимі,

$$\Delta W_{CT(t)B} = \int_0^{T_{\Sigma}} (a_1 I_B^2(t)_B + a_2 I_B(t)_B \cdot u(t)_B + a_3 u^2(t)_B) dt$$

- магнітні втрати пов'язані з процесом перемагнічування

сталі якоря при випробуванні,

a_1, a_2, a_3 - постійні коефіцієнти,

$u(t)$ - напруга на якорі двигуна,

$I_B(t)$ - струм збудження,

T_{Σ} - час циклу роботи.

Кількість охолоджуючого повітря повинна регулюватися, виходячи з відношення

$$Q_B = Q_T \cdot \frac{\Delta W_{\Sigma B}}{\Delta W_{\Sigma T}},$$

де Q_T - кількість охолоджуючого повітря в технологічному режимі.

Продуктивність вентилятора пропорційна частоті живлення

$$f_B = f_T \cdot \frac{\Delta W_{\Sigma B}}{\Delta W_{\Sigma T}}.$$

Тоді швидкість обертання вентилятора розраховується по формулі

$$\omega_B = \frac{2\pi f_B}{p},$$

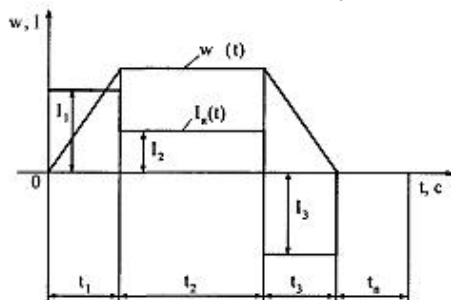
або

$$\omega_B = \frac{2\pi}{p} \left(f_T \cdot \frac{\Delta W_{\Sigma B}}{\Delta W_{\Sigma T}} \right),$$

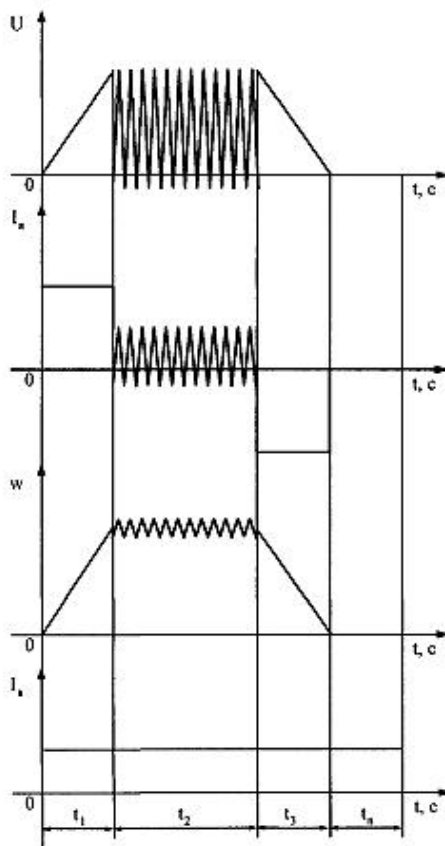
де p - число пар полюсів асинхронного двигуна.

Пристрій, що реалізує спосіб представлений на фіг.3. Машина постійного струму 1 через датчик струму якоря 4 підключена до перетворювача 2, паралельно якому включений датчик напруги 3. Обмотка збудження електричної машини під'єднана через датчик струму збудження 5 до керованого збуджувача 6, напругу якого вимірює датчик 7. Швидкість обертання вентилятора 11 контролюється датчиком 14. Сигнали з датчиків струму якоря 4, напруги якоря 3, струму збудження 5, напруги збудження 7, швидкості обертання 8, продуктивності 14, температури 15 надходять на входи 1-7 обчислювального блоку (ОБ) 16, який через системи управління 12, 13 і 9 здійснює керування перетворювачами 2, 6, 10 відповідно, а також опрацьовує отримані сигнали й дані, введення яких виконується за допомогою блоку 17 та виводить результати на блок візуалізації 18.

Блок-схема обчислювального блоку представлена на фіг.4. Сигнали напруги ($U_{я}$) та струму ($I_{я}$) якірної обмотки, напруги ($U_{в}$) та струму ($I_{в}$) обмотки збудження, швидкості обертання двигуна ($\omega_{я}$), кількості охолоджуючого повітря ($Q_{ф}$) та фактичної температури навколишнього середовища ($T_{пф}$) з відповідних датчиків надходять на блок вторинних датчиків 19, з виходу якого сигнали у вигляді напруг, еквівалентних вхідним величинам, за допомогою ключа, в якості якого використовується аналоговий мультиплексор 20, та плати аналого-цифрового перетворення 21 передаються до електронно-обчислювальної машини 22, де проводиться розрахунок сигналів, які в свою чергу через блок цифро-аналогового перетворення 24 та ключа 25, в якості якого використовується аналоговий демультиплексор, надходять на відповідні підсилюючі блоки 26, 27 та 28, з виходів яких вони у вигляді керуючих сигналів напруг задання якірної обмотки ($U_{я3}(t)$), обмотки збудження ($U_{в3}(t)$) та кількості охолоджуючого повітря ($U_{Q3}(t)$) передаються до систем управління 12, 13 та 9 відповідно. Мікроконтролер 23 контролює узгодженість роботи блоків 20-25.

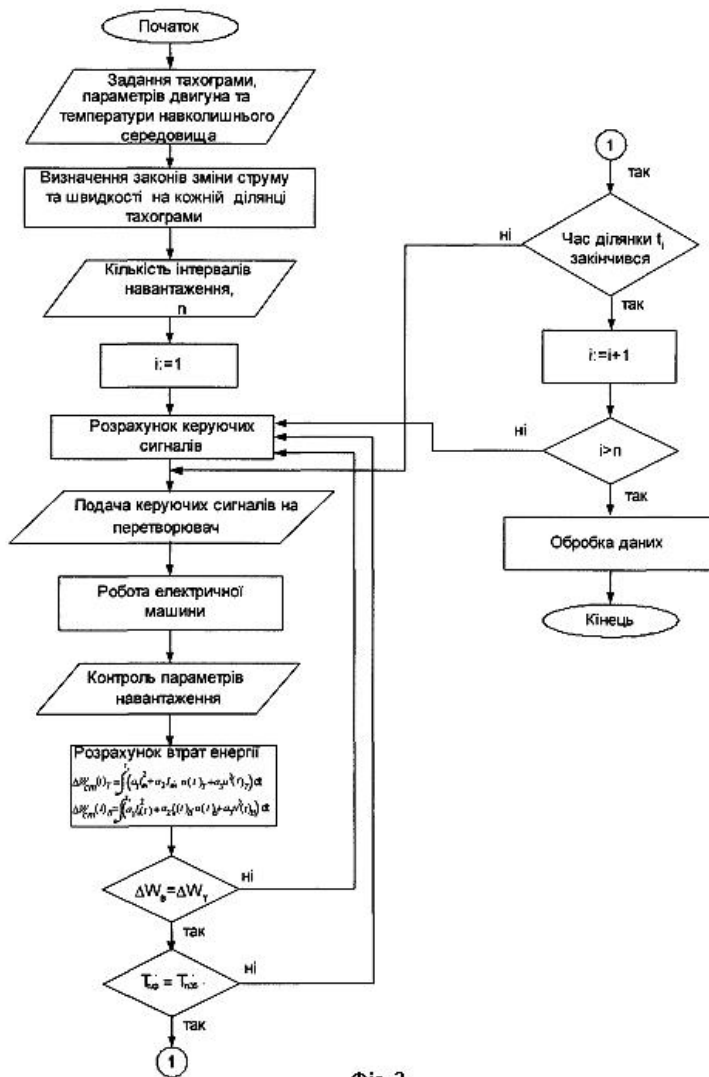


Діаграми навантаження приводу робочого механізму екскаватора

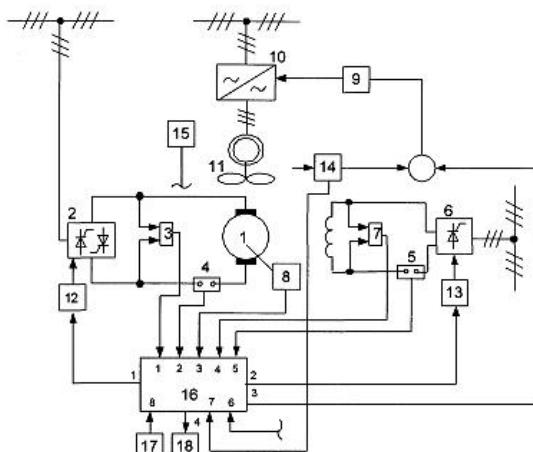


Графіки зміни параметрів ДЛС при моделюванні технологічного навантаження

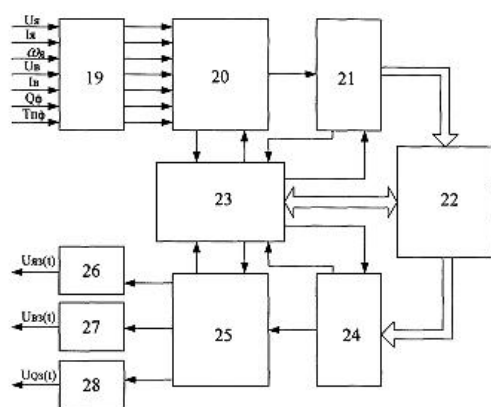
Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4