

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КРИВОЇ ЗМІНИ ЧАСТОТИ
СТРУМУ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З
ОБМЕЖЕННЯМ АКТИВНОЇ СКЛАДОВОЇ СТРУМУ ТА РИВКА**

Винахід відноситься до галузі електротехніки, конкретно – стосується тягових частотно-керованих електроприводів змінного струму.

Відомий пристрій для формування діаграм переміщення з обмеженням швидкості та її другої похідної [1], що містить задатчик, вихід якого з'єднано з входом першого пропорційного блоку, вихід першого пропорційного блоку з'єднано з входом першого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, вихід першого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, з'єднано з входом першого інтегрального блоку, вихід першого інтегрального блоку з'єднано з входом другого інтегрального блоку, перший пропорційний блок, перший вхід якого з'єднано з виходом задатчика, а вихід якого з'єднано з входом другого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, вихід якого з'єднано з входом другого пропорційного блоку, третій інтегральний блок, вихідний сигнал якого відповідає залежності кута повороту електроприводу від часу, вхід третього інтегрального блоку з'єднано з виходом другого інтегрального блоку, а вихід з'єднано з другим входом другого пропорційного блоку, третій пропорційний блок, вхід якого з'єднано з виходом першого інтегрального блоку, а вихід якого з'єднано з третім входом другого пропорційного блоку, п'ятий пропорційний блок, вхід якого з'єднано з четвертим входом другого пропорційного блоку.

Недоліком відомого пристрою є те, що він не дозволяє формувати криву зміни швидкості електроприводу з обмеженням ривка, формувати вихідний сигнал у вигляді завдання на частоту струму статора двигуна.

Прототипом обрано пристрій [2], що містить перший задатчик, перший пропорційний блок, блок, що обмежує значення свого вхідного сигналу, перший інтегральний блок, другий інтегральний блок, перший блок добутку, третій інтегральний блок, другий блок добутку, другий задатчик, блок, що

формує на виході абсолютне значення свого вхідного сигналу, другий пропорційний блок, блок що формує на виході значення кореня третього ступеня свого вхідного сигналу, третій пропорційний блок, третій блок добутку, четвертий блок добутку, четвертий інтегральний блок, п'ятий інтегральний блок, четвертий блок добутку, п'ятий блок добутку, п'ятий пропорційний блок, блок що формує значення кореня п'ятого ступеня свого вхідного сигналу, шостий блок добутку, шостий пропорційний блок, сьомий блок добутку, сьомий пропорційний блок.

Недоліками прототипу є те, що він не дозволяє формувати криву зміни швидкості електроприводу з обмеженням ривка, активної складової струму та видавати на виході сигнал у вигляді завдання на частоту зміни струму статора двигуна.

В основу винаходу поставлено завдання створення пристрою для формування кривої зміни частоти струму тягового частотно-керованого електроприводу з обмеженням активної складової струму та ривка.

Вирішення цього завдання досягається тим, що створено пристрій для формування кривої зміни частоти струму тягового частотно-керованого електроприводу з обмеженням активної складової струму та ривка, що містить перший пропорційний блок, на вхід якого подається сигнал завдання на частоту струму двигуна, а вихід якого подається на перший вхід першого компаратора, другий вхід якого приєднано до виходу другої інтегральної ланки, а третій вхід якого приєднано до виходу другого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, вихід першого компаратора приєднано до входу першого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, вихід якого приєднано до входу другого блоку, що обмежує значення свого вхідного сигналу, вихід якого приєднано до входу другої інтегруючої ланки, вихід якої приєднано до другого пропорційного блоку, вихід якого приєднано до першого входу другого компаратора, другий вхід якого з'єднано з виходом третьої пропорційної ланки, а вихід якого приєднано до першого входу блоку обмеження струму, до другого входу якого приєднано вихід

третього компаратора, на перший вхід якого потрапляє сигнал активного струму від системи, а на другий вхід якого потрапляє завдання на активний струм системи, вихід блоку обмеження струму приєднано до входу третьої інтегруючої ланки.

Порівняно з прототипом відмінними істотними ознаками є те, що функціональні взаємодії між вказаними елементами пристрою забезпечують оптимальні графіки зміни швидкості електроприводу з обмеженням ривка, активної складової струму та видавати на виході сигнал у вигляді завдання на частоту зміни струму статора двигуна.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей – шляхом конструкційних удосконалень розроблено пристрій для формування кривої зміни частоти струму тягового частотно-керованого електроприводу з обмеженням активної складової струму та ривка.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію “новизна” та приводить до нових технічних результатів.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від прототипу, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки. Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що запропоноване технічне рішення задовольняє критерію “Винахідницький рівень”.

Ідея винаходу пояснюється на кресленні (фіг.1), де зображено загальний вигляд пристрою.

Винахід складається з пропорційного блоку 1, на вхід якого подається сигнал завдання на частоту струму двигуна, а сигнал з виходу якого порівнюється на компараторі 2 з вихідним сигналом другої інтегральної ланки 7, яка формує сигнал швидкості, що підсилено в пропорційному блоці 8, та з вихідним сигналом першої інтегральної ланки 4, яка формує сигнал прискорення, що підсилено в пропорційному блоці 6. Після порівняння на компараторі 2 сигнал подається на вхід блоку 3, що обмежує значення ривка, на виході якого встановлено інтегруючу ланку 4, вихід якої приєднано до

входу блоку 5, що обмежує значення прискорення. Після цього сигнал з виходу блоку 5 подається на вхід інтегруючої ланки 7, яка формує сигнал швидкості, вихід якої приєднано до входу пропорційної ланки 9, яка формує сигнал на частоту струму двигуна, вихід якої порівнюється на компараторі 10 з вихідним сигналом третьої інтегральної ланки 14, яка формує завдання на частоту струму двигуна. З виходу компаратора 10 сигнал потрапляє до першого входу блоку обмеження струму 11, який формує значення струму в залежності від сигналу, що приходить до другого його входу з компаратора 15, на вхід 12 якого потрапляє сигнал за активним струмом від двигуна, до якого приєднано систему, а на вхід 13 якого потрапляє фактично заданий сигнал на активний струм.

Для забезпечення функціонування пристрій підключається до комплектного пристрою автоматики з боку пропорційної ланки 1, та до системи керування з боку третьої інтегральної ланки 14. Також потрібно подати на вхід 12 сигнал за активним струмом від двигуна, до якого приєднано систему, а на вхід 13 фактично заданий сигнал на активний струм.

Пристрій працює таким чином.

Оптимальна тахограма процесів пуску, усталеного руху та гальмування з обмеженням прискорення й ривка візка локомотива формується комбінованим задатчиком інтенсивності, який складається із послідовно з'єднаних задатчиків ривка ЗР, прискорення ЗП, швидкості ЗШ та частоти ЗЧ.

Задатчик ривка являє собою операційний підсилювач із релейною характеристикою (фіг. 2). Обмеження вихідної напруги $U_{з.р.}$ задатчика ривка забезпечується максимальною уставкою, яка є величиною максимального ривка, припустимого для локомотива.

На вхід задатчика ривка (блок 1) (фіг. 1) подається сигнал завдання на частоту струму f^{**} , що формується комплексним пристроєм автоматики (КПА) в залежності від необхідної швидкості руху локомотива.

Блок відповідності 1 виконує перетворення сигналу завдання на частоту f^{**} у відповідний сигнал завдання на швидкість обертання коліс візка.

У якості задатчика прискорення використаний блок 3, у якого темп зміни його вихідної напруги $U_{з.п.}$ визначається лише настроюванням задатчика й не залежить від напруги $U_{з.р.}$. Напрямок зміни $U_{з.п.}$ визначається полярністю $U_{з.р.}$. Задатчик швидкості зібраний за схемою інтегратора 7, тому темп і напрямок зміни його вихідної напруги $U_{з.ш.}$ залежать від значення й полярності $U_{з.п.}$. На виході блоку 7 формується певне значення завдання на швидкість v^* , що потрапляє до блоку відповідності 9, який виконує перетворення сигналу завдання на швидкість обертання коліс візка v^* у відповідний сигнал завдання на частоту f^* . Даний сигнал f^* подається на блок обмеження струму 11, який працює наступним чином: на компараторі 15 відбувається порівняння фактичної активної складової струму системи I_A (вхід 12) та максимального струму (вхід 13), що припустимий I . В разі перевищення значення I_A над I блок 11 формує на своєму виході нульовий сигнал, що призводить до припинення зміни частоти завдання на виході інтегратора 14. Якщо перевищення значення I_A над I немає, блок 11 без змін передає на вихід інтегратора 14 сформований блоком 9 сигнал, тобто формується вихідний сигнал завдання на частоту f_3 .

Діаграми зміни в часі вихідних напруг задатчиків наведені на фіг.3. На певних ділянках цього графіка величини прискорень і ривок на початку й кінці руху локомотива підтримуються постійними, рівними гранично припустимим значенням a_{\max} , p_{\max} .

При подачі на вхід пристрою напруги $U_{вх.}$ на виході за датчика ривка з'являється незмінна в часі напруга $U_{з.р.}$ (фіг.3). Тому що $U_{з.р.} > 0$, то на виході за датчика прискорення напруга наростає в позитивному напрямку аж до насичення (момент часу t_1 на фіг.3).

Далі до моменту часу t_2 $U_{з.п.} = \text{const}$. Вихідна напруга за датчика швидкості змінюється відповідно за параболічним законом до моменту часу t_1 і лінійно в інтервалі $t_1 - t_2$ (фіг.3). На вхід за датчика ривка подається сигнал сумарного зворотного зв'язку $U_{з.н.}$ по напругах $U_{з.п.}$ й $U_{з.ш.}$. В момент часу t_2 $U_{з.н.} = U_{вх.}$ і $U_{з.р.}$ обертається в нуль (фіг.3). Подальше зростання $U_{з.н.}$ (момент часу t_2' на фіг.2) приводить до зміни полярності $U_{з.р.}$ (фіг.3). Задатчик прискорення при

цьому виходить із насичення і його напруга знижується. Зменшується також $U_{з.н.}$. У момент часу t_3 знову $U_{з.н.} = U_{вх.}$, $U_{з.р.}=0$, $U_{з.п.}=0$, а напруга $U_{з.ш.}=U_{з.ч.}$ досягає максимального значення. Сформований у такий спосіб сигнал надходить на вхід регулятора частоти системи.

Гальмування проходить відповідно у зворотному порядку до описаного процесу розгону локомотива.

На графіку розгону (фіг.3) можна виділити три характерні ділянки:

1) OA – час розгону від 0 до t_1 . На цій ділянці постійним підтримується ривок, прискорення змінюється за лінійним законом, швидкість руху локомотива – по параболі, тобто:

$$\begin{aligned} p_{OA} &= p_{\max}, \\ a_{OA} &= p_{\max} t, \\ v_{OA} &= \frac{p_{\max} t^2}{2}, \end{aligned}$$

де p_{OA} , a_{OA} , v_{OA} – відповідно значення ривка, прискорення та швидкості на ділянці OA;

t – час руху локомотива;

$p_{\max}=20 \text{ м/с}^3$ – максимально припустиме значення ривка для пасажирів поїзда.

Наприкінці цієї ділянки рух характеризується наступними параметрами:

$$\begin{aligned} p_A &= 0, \\ a_A &= p_{\max} t_1, \\ v_A &= \frac{p_{\max} t_1^2}{2} = \frac{a_{\max}^2}{2p_{\max}}, \end{aligned}$$

де p_A , a_A , v_A – відповідно значення ривка, прискорення та швидкості наприкінці ділянки OA в точці A.

Час руху на 1-й ділянці від 0 до t_1 складе:

$$T_1 = \frac{a_{\max}}{p_{\max}}.$$

2) АБ – час розгону від t_1 до t_2 . На цій ділянці рух здійснюється з постійним прискоренням, швидкість змінюється за лінійним законом, а ривок відсутній, тобто:

$$r_{AB}=0,$$

$$a_{AB}=a_{\max},$$

$$v_{AB} = v_A + a_{\max} t,$$

де r_{AB} , a_{AB} , v_{BA} – відповідно значення ривка, прискорення та швидкості на ділянці АБ.

Час руху на цій ділянці й швидкість наприкінці цієї ділянки залежать від величини номінальної швидкості локомотива:

$$v_B = v_A + a_{\max} (t_2 - t_1) = v_{\text{ном.}} - \frac{a_{\max}^2}{2r_{\max}},$$

де v_B – швидкість наприкінці ділянки АБ в точці Б;

$v_{\text{ном.}}$ – номінальна швидкість локомотива.

Звідси час проходження другої ділянки:

$$t_1 - t_2 = T_2 = \frac{v_H - v_A}{a_{\max}} - \frac{a_{\max}}{2r_{\max}}.$$

3) БВ – час розгону від t_2 до t_3 . На цій ділянці ривок має максимальне значення, прискорення знижується за лінійним законом до 0, швидкість досягає номінального значення, тобто:

$$r_{BV} = -r_{\max},$$

$$a_{BV} = a_{\max} - r_{\max} t,$$

$$v_{BV} = v_B - \int_0^t a_{BV} dt,$$

де r_{BV} , a_{BV} , v_{BV} – відповідно значення ривка, прискорення та швидкості на ділянці БВ;

t – час, що відлічується від моменту t_2 .

Наприкінці ділянки одержуємо усталений рух, тобто:

$$r_V = 0,$$

$$a_V = 0,$$

$$v_B = v_H,$$

де r_B , a_B , v_B – відповідно значення ривка, прискорення та швидкості наприкінці ділянки БВ в точці В.

Процес пуску на цьому закінчений. Далі локомотив рухається з номінальною швидкістю.

Практично реалізація наведеного графіка руху локомотива можлива шляхом формування сигналу, що задається мікропроцесорною системою керування, відповідного до цього графіка й подаваного на вхід системи керування інвертором, побудованої за принципом підлеглого регулювання.

Параметри задатчика інтенсивності можуть бути розраховані, виходячи з наступних міркувань:

а) в точці В графіка прискорення відсутнє ($a_B=0$), швидкість стає номінальною ($v_B = v_{\text{ном.}}$), тоді:

$$U_{\text{вх.}} - k_2 v_{\text{ном.}} = 0,$$

$$k_2 = \frac{U_{\text{вх.}}}{v_{\text{ном.}}},$$

де k_2 – коефіцієнт зворотного зв'язку системи за швидкістю.

б) в точці Б графіка прискорення має максимальне значення, $a=a_{\text{max}}$; швидкість локомотива- значення v_B , а ривок повинен змінювати знак, тоді рівняння для напруг на вході датчика інтенсивності:

$$U_{\text{вх.}} - k_1 U_{a \text{ max}} - k_2 v_B = 0,$$

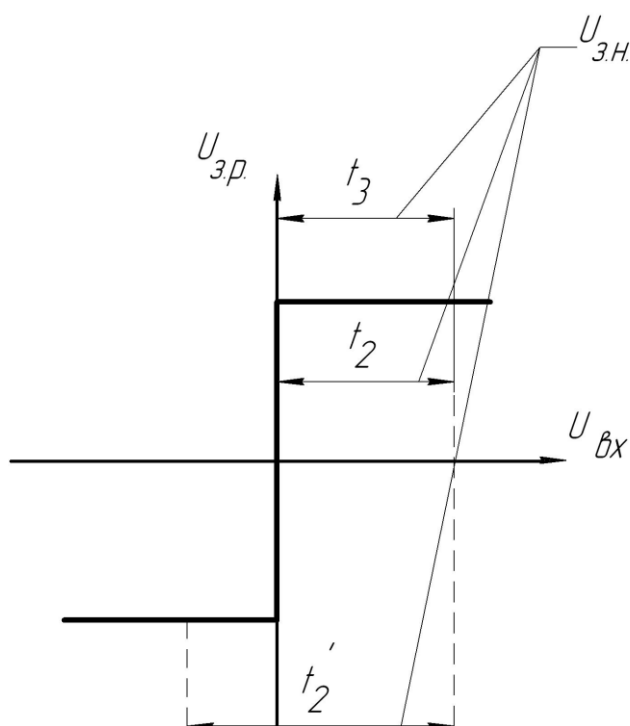
$$k_1 = \frac{U_{\text{вх.}} - k_2 v_B}{U_{a \text{ max}}}.$$

Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію “Промислове застосування”.

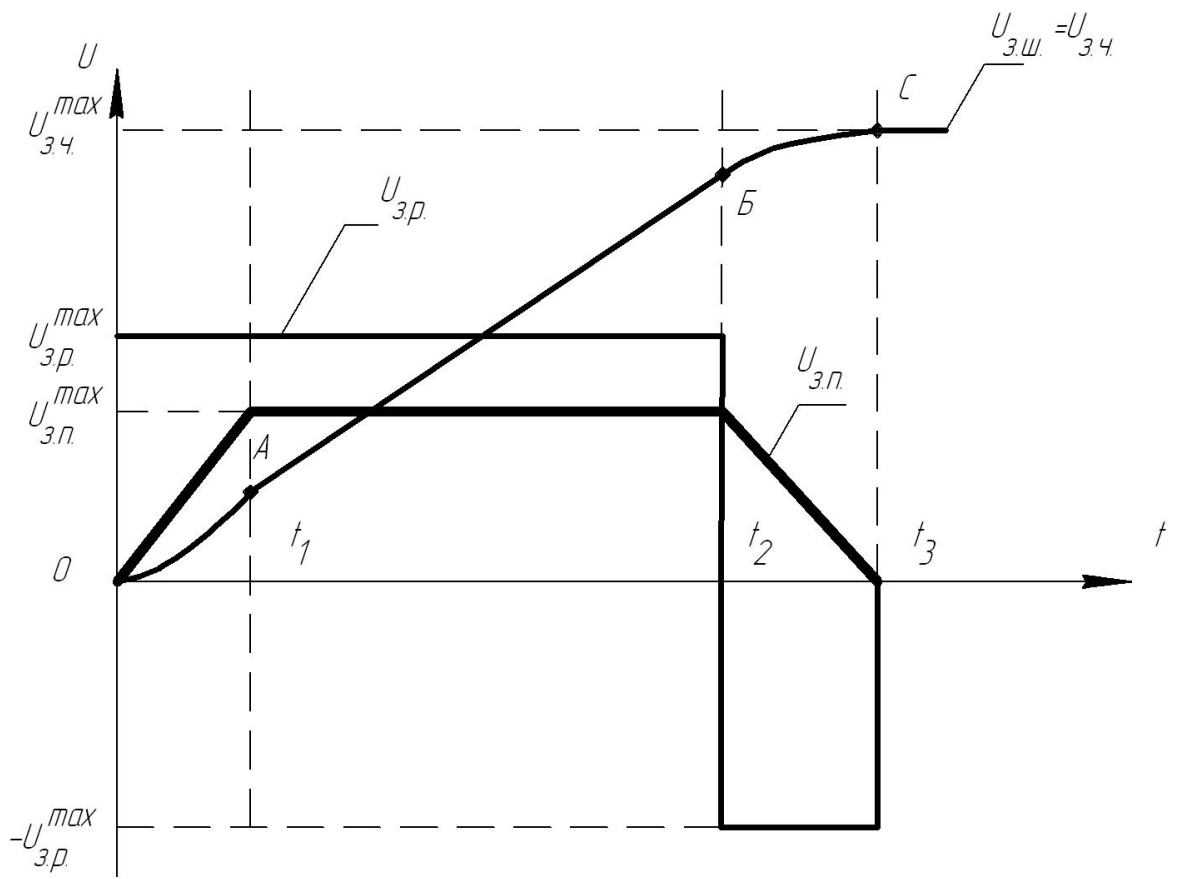
Джерела інформації

Проректор з НР ЗНТУ, д-р техн. наук,
проф.

_____ Ю.М. Внуков
М.П.



Фіг.2 Характеристика керування задатчиком ривка



Фіг.3 – Діаграми зміни в часі вихідних напруг датчиків з обмеженням активної складової струму