

## **ЦИФРОВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З КВАЗІРЕЗОНАНСНИМ ІМПУЛЬСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ**

Використання квазірезонансного імпульсного перетворювача (КРІП) для живлення двигуна постійного струму (ДПС) на сьогоднішній час є дуже перспективною темою. При цьому вдається поліпшити багато характеристик системи ІП-ДПС. В першу чергу це стосується енергетичних та питомих характеристик. У [1], [2] було показано переваги КРІП над звичайними імпульсними перетворювачами (ІП). Все це відкриває великі перспективи у застосуванні КРІП в сучасному народному господарстві. Найбільш сприятливі галузі, це електротранспорт (перетворювачі великої потужності) та апарати точного магнітного запису (перетворювачі невеликої потужності, але з високими вимогами до стабільності частоти обертання та фази).

Широкому впровадженню КРІП на сучасному етапі заважає відсутність потужних високочастотних силових приборів, а особливо діодів. Найбільш вигідна, з масогабаритних критеріїв, частота перетворювання одиниці МГц (1-2МГц). Сучасна елементна база на такій частоті може запропонувати лише порівняно малопотужні прибори (до 100Вт). У потужних приборів гранична частота складає близько 100кГц. Тому зараз варто звернути особливу увагу у напрямку впровадження КРІП для малопотужної техніки, наприклад, для апаратів точного магнітного запису, де КРІП в змозі найбільш вигідно реалізувати всі свої переваги, а саме малий рівень завад як по шині живлення, так і випромінюваних в ефір, малі габарити (за рахунок високої частоти перетворювання) та хорошу сумісність з живлячою мережею (малий коефіцієнт вищих гармонік, що генеруються КРІП по живленню).

Для успішного використання КРІП як джерела живлення для ДПС не обійтись без систем керування (СК), яка б дозволила керувати швидкістю ДПС та підтримувати її з заданою точністю завдяки зворотньому зв'язку. Більш високими характеристиками відрізняються цифрові системи керування, так, наприклад, якщо зробити СК повністю цифровою, починаючи з давача і закінчуючи вихідним каскадом КРІП, то вдасться уникнути багато неприємностей, які б виникали в аналоговій СК. Наприклад, цифрові СК (ЦСК) не чутливі до рівнів напруги (в певному

діапазоні її зміни), тому що інформація в ній передається не за допомогою рівня наруги (як у аналоговій СК), а за допомогою цифрового коду. Також у ЦСК можливо застосування мікроконтролера, що значно спростить цю СК, а також дозволить покращити її масогабаритні показники та поліпшити інші характеристики системи.

Структурна схема системи КРІП-ДПС зображена на рисунку 1.

В подальшому розглянемо КРІП з перемиканням силового ключа при нульовому струмі (КРІП-ПНС) та ДПС з незалежним збудженням або з постійними магнітами (ДПС-НЗ).

На рисунку 1 КРІП живиться від мережі живлення постійного струму (МЖ). КРІП видає на ДПС необхідний рівень наруги та струму для підтримки заданої частоти обертання  $\omega$ . Інформація про швидкість перетворюється давачем швидкості (ДШ) в необхідний сигнал й подається на СК, де порівнюється з заданою, та на основі цього формується сигнал керування  $U_{кер}$  КРІП.

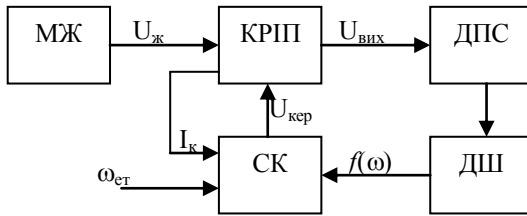


Рисунок 1. Структурна схема КРІП-ДПС.

Структурна схема КРІП показана на рисунку 2.

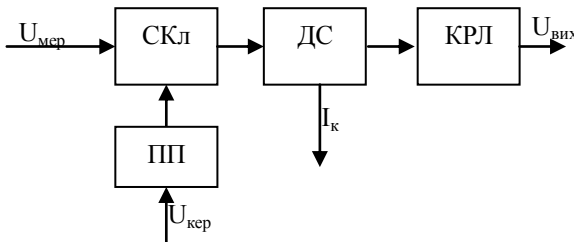


Рисунок 2. Структурна схема КРІП

Напруга живлення подається на силовий ключ (СКл), давач струму (ДС) необхідний для контролювання моменту переходу струму квазірезонансного контуру через нуль та синхронізувати з ним момент

вимикання силового ключа також ДС знадобиться в двоконтурній системі керування. В подальшому напруга подається через квазірезонансну ланку (КРЛ) на вихід КРП. Сигнал від СК подається на СКЛ через підсилювач потужності (ПП).

Схема одного із варіантів цифрової СК (одноконтурної) показана на рисунку 3, а діаграми роботи – на рисунку 4. На рисунку 3: Д1, Д2 – датчі швидкості обертання вала ДПС, їх конструкція зображена на рисунку 5.

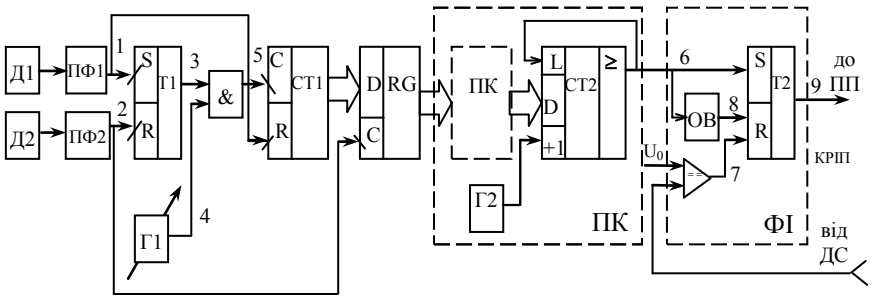


Рисунок 3. Структурна схема ЦСК

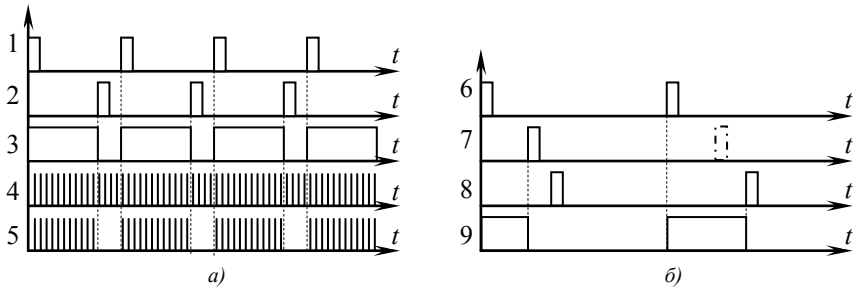


Рисунок 4. Діаграми роботи ЦСК

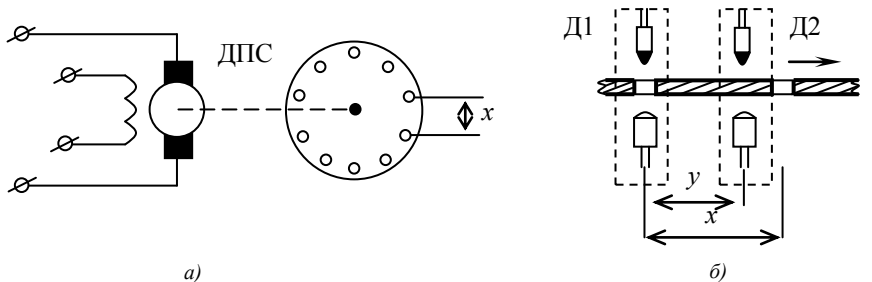


Рисунок 5. Конструкція датчиків швидкості

В даній ЦСК реалізовано ЧІМ-1 та використовується метод вимірювання швидкості з двома давачами. Давачі розташовані на відстані  $u$  один від одного. Давачі – це оптопари (можливе використання й інших давачів), світловий потік яких переривається пластиною, яка закріплена на валу двигуна і в якій зроблено  $n$  отворів на відстані  $x$  один від одного по колу. При цьому відстань між давачами  $u$  не повинна перевищувати відстань  $x$  між отворами. При такій конструкції давачів похибка вимірювання швидкості не залежить від точності виготовлення пластини з отворами, тому що фіксується час, коли один отвір проходить відстань  $u$ , тобто від одного давача до другого. ПФ1, ПФ2 – підсилювач-формував першого та другого давачів; Т1, Т2 – тригери; Г1 – генератор, що може перестроюватись по частоті, задавач швидкості; & – логічна схема “і”; СТ1 – лічильник; RG – реєстр зберігання; ПКЧ – перетворювач код-частота; ФІ – формувач імпульсів; ОВ – одновібратор.

ЦСК працює наступним чином: фронт імпульсу з ПФ1 обнуляє лічильник СТ1, а також встановлює Т1 в “1” і цим дозволяє проходження лічильних імпульсів з Г1 через схему “і” на лічильний вхід лічильника СТ1 (діаграми роботи на рисунку 4а). Лічильник починає рахувати кількість імпульсів, що надійшли. Потім фронт імпульсу з ПФ2 встановлює Т1 в “0” і цим забороняється подальше проходження імпульсів на лічильний вхід СТ1. В цей час в лічильнику СТ1 зберігається код, який обернено пропорційний частоті обертання валу двигуна і прямо пропорційний часу проходження вікном пластини відстані від Д1 до Д2.

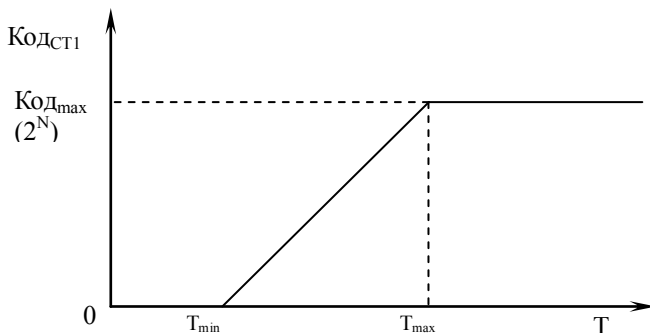


Рисунок 6. Передаточна характеристика: давач швидкості - СТ1

По спаду імпульсу з ПФ2 код з СТ1 переписується в RG, де він буде зберігатись до наступного сеансу запису нового коду. ПФ1 повинен видавати фронт імпульсу під час включення системи, а також коли двигун зупиниться, для його розгону. Лічильник повинен мати систему захисту від переповнення. Коли лічильник повністю заповниться, необхідно, щоб

згенерувався сигнал переповнення, який би заборонив в подальшому надходження імпульсів на лічильний вхід СТ1, для попередження неправильної роботи всієї системи. Таким чином, можна сказати, що передаточна характеристика ланки від давача швидкості до лічильника має вигляд, зображений на рисунку 6.

Фактично ланка від давачів до лічильника являє собою цифровий вимірювач часового інтервалу. Мінімальний часовий інтервал  $T_{\min}$ , який можна виміряти залежить від частоти генератора Г1, а максимальний –  $T_{\max}$  від частоти Г1, а також від розрядності лічильника СТ1.

$$T_{\min} = \frac{1}{f_{Г1}}, \quad (1)$$

$$T_{\max} = \frac{2^{N1}}{f_{Г1}}, \quad (2)$$

де  $N1$  – розрядність лічильника СТ1.

Код з регістра подається на перетворювач код-частота, який в себе включає перетворювач коду (ПК), генератор (Г2), лічильник (СТ2). Передаточна характеристика ПКЧ зображена на рисунку 7.

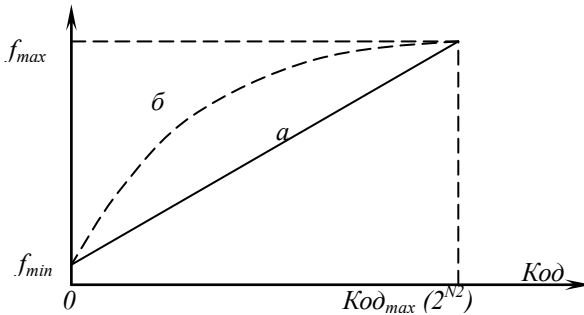


Рисунок 7. Передаточна характеристика ПКЧ: а – без ПК, б – з ПК

Без ПК вона є прямою (рисунок 7а) й описується формулою (3), тобто частота на виході ПКЧ прямо пропорційна коду і при максимальному коду на вході ПКЧ вихідна частота дорівнює частоті генератора Г2 (4). А при мінімальному коді (який дорівнює нулю) вихідна частота буде мінімальною (5).

$$f = \frac{f_{Г2}}{2^{N2}} \left( 1 + \left( 1 - \frac{1}{2^{N2}} \right) \text{Код} \right) \quad (3)$$

$$f_{\max} = f_{Г2}, \quad (4)$$

$$f_{min} = f_{max} / (2^{N2}), \quad (5)$$

де  $N2$  – розрядність лічильника СТ2.

ПК необхідний для лінеаризації загальної передаточної характеристики. Тобто щоб коефіцієнт передачі у системі зворотного зв'язку був постійний для будь якої частоти обертання. Передаточна характеристика КРП - ДПС має вигляд, зображений на рисунку 8. Тобто вона обернено пропорційна до періоду роботи КРП(6).

$$n = \frac{k}{T}, \quad (6)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить як від параметрів КРП, так і від параметрів ДПС.

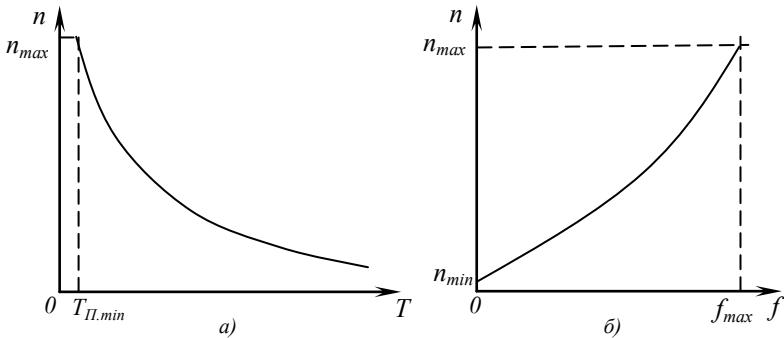


Рисунок 8 – Передаточна характеристика КРП-ДПС, а)- залежність обертів ДПС від періоду КРП, б) - залежність обертів ДПС від частоти КРП

$T_{\Pi.min}$  – мінімальний період роботи КРП-ПНС, який визначається параметрами КРЛ і дорівнює зазвичай  $T_{рез}$ , де  $T_{рез}$  – резонансна частота КРЛ;  $f_{max} = 1/T_{\Pi.min}$ .

Таким чином передаточна характеристика КРП-ДПС в першому наближенні є обернено-пропорційною до періоду роботи КРП.

Отже загальна характеристика усієї системи, тобто залежність обертів ДПС від коду на виході лічильника СТ1 буде нелінійною. Для її лінеаризації до схеми уведений ПК, який повинен перетворити код так, щоб загальна характеристика стала лінійною. Формула (7) задає зв'язок між вхідним та вихідним кодом ПК.

$$Код_{ax} = \frac{1}{1 - \frac{Код_{вих}}{Код_{max}}} \quad (7)$$

В якості ПК можливе використання мікросхеми постійного запам'ятовуючого пристрою або іншого пристрою, який в змозі перетворити код згідно з формулою (7).

З ПКЧ сигнал (діаграма 6 на рисунку 4) йде на ФІ, який формує імпульси для керування КРПП. Фронт імпульсу з ПКЧ встановлює Т2 в "1" й водночас запускає ОВ. "0" на виході Т2 може встановитися двома шляхами, або за допомогою сигналу з компаратора (діаграма 7 на рисунку 4), або з допомогою сигналу з одновібратору (діаграма 8 на рисунку 4). На компаратор подається два сигнали, один з давача струму, інший – опорна напруга. На виході компаратора з'являється "1", коли сигнал з давача струму стане меншою, за опорну напругу. Цією ланкою (ДС, компаратор, вхід R Т2) забезпечується вимикання силового ключа в момент рівності його струму нулю. Для попередження затримок в проходженні сигналу від ДС до СКл, необхідна опорна напруга  $U_0$ , завдяки якій формується сигнал вимикання силового ключа з випередженням. Регулюючи цю напругу, можливо точно синхронізувати момент вимикання СКл з моментом проходження його струму через нуль. Якщо з якихось причин (завада, аварія й т.і.) імпульс з компаратора не прийшов, то вимикання силового ключа буде здійснене по сигналу з ОВ. Тривалість імпульсу ОВ вибирається рівною максимально можливій тривалості відкритого ключа КРПП, в граничному випадку вона дорівнює періоду частоти особистих коливань резонансної ланки.

Таким чином на виході ЦСК можливо отримати сигнал (діаграма 9 на рисунку 4), частота якого може змінюватись від  $f_{T2}$  до  $f_{T2}/(2^{N2})$ , а тривалість імпульсу – від 0 до  $T_{рез}$ .

Для підвищення точності підтримання швидкості, необхідно збільшувати розрядність СТ1, а для підвищення діапазону регулювання швидкості – розрядність СТ2.

Щоб перетворити одноконтурну ЦСК в двоконтурну, необхідно додати контур зворотнього зв'язку за струмом якоря, для цього необхідно перетворити сигнал з ДС, що встановлений в колі якоря, з аналогової форми в цифрову, та скласти цей сигнал, після цифрового регулятора з сигналом від контуру швидкості і подати на ПК. Частина цієї схеми зображена на рисунку 9, де ДС1 – давач струму в колі резонансного контуру, ДС2 – давач струму в колі якоря, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ЦР – цифровий регулятор, А+В – цифровий суматор.

Розглянуту ЦСК можна реалізувати на базі мікропроцесора (мікроконтролера), або на базі програмованої логічної інтегрованої схеми (ПЛІС). В цьому випадку можна значно покращити показники системи, бо можна в малому об'ємі створити ЦСК з великою розрядністю лічильників, що поліпшить точність стабілізації швидкості.

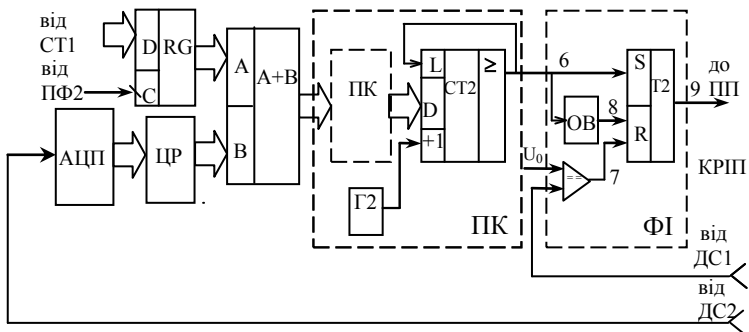


Рисунок 9. Фрагмент ЦСК з контуром зворотнього зв'язку за струмом

В подальшому, для покращення характеристик ЦСК, необхідно переходити до фазового керування швидкістю [3], це дасть змогу позбавитись від статичної похибки, яка присутня в розглянутій вище ЦСК.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Денисов Ю.А., Ревко А.С., Прохоренко А.Д. Электромагнитная совместимость с сетью стабилизаторов с квазирезонансными импульсными преобразователями. // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Системи керування та контролю напівпровідникових перетворювачів. Київ, –1999. –с. 24-27.
2. Денисов Ю.А., Ревко А.С. Анализ электромагнитных процессов в системе квазирезонансный импульсный преобразователь, переключаемый при нулевом токе – двигатель постоянного тока. // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. с. Київ, - 2000.
3. Денисов А.И., Зволинский В.М., Руденко Ю.В. Вентильные преобразователи в системах точной стабилизации. - Киев: Наукова думка, –1995. -250 с.