

УДК 621.311.442.4

ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ «ВИПРЯМЛЯЧ З ВОЛЬТО- ДОДАВАЛЬНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ – НАВАНТАЖЕННЯ»

В. В. Панченко

Старший викладач

Кафедра автоматизованих систем

електричного транспорту

Українська державна академія

залізничного транспорту

майд. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

E-mail: vlad-zmyov@mail.ru

У статті виконано аналіз динамічних властивостей системи «випрямляч з вольтододавальним перетворювачем – навантаження». Отримані рівняння динаміки даної системи дозволять включити випрямляч з вольтододавальним перетворювачем до замкнутої структури з метою покращення його електромагнітної сумісності з контактною мережею

Ключові слова: випрямляч, вольтододавальний перетворювач, динамічні властивості, система автоматичного регулювання, широтно-імпульсний перетворювач

В статтє выполнен анализ динамических свойств системы «выпрямитель с вольтодобавочным преобразователем – нагрузка». Полученные уравнения динамики данной системы позволяют включить выпрямитель с вольтодобавочным преобразователем в замкнутую структуру с целью улучшения его электромагнитной совместимости с контактной сетью

Ключевые слова: вольтодобавочный преобразователь, динамические свойства, система автоматического регулирования, широтно-импульсный преобразователь

1. Вступ

Поліпшення електромагнітної сумісності випрямляючого агрегату тягової підстанції з контактною мережею можливо за рахунок компенсації гармонік вихідної напруги випрямляча і стабілізації його середнього значення. Рішення поставленої задачі пропонується виконати засобами силової електроніки і автоуправління, а саме за рахунок доповнення основного некерованого випрямляча трифазним мостовим широтно-регульованим вольтододавальним перетворювачем.

У пропонуваній системі автоматичного регулювання (САР) основний потік потужності з живлячої мережі в навантаження передається через 12-пульсний некерований випрямляч. Широтно-регульований вольтододавальний перетворювач (ВДП) розраховується на передачу потужності, яка складає близько 20% від потужності основного випрямляча.

2. Аналіз останніх публікацій

При дослідженні динамічних властивостей керованих випрямляючих пристроїв в роботі [1] отримані рівняння динаміки для випрямляючого пристрою з тиристорним вольтододавальним перетворювачем, а в роботах [2, 3] тиристорного випрямляча і широтно-імпульсного перетворювача,

Регулювання напруги випрямляючого агрегату (рис. 1) забезпечується за рахунок негативного зворот-

ного зв'язку по напрузі навантаження U_n за допомогою ПІД-регулятора напруги РН, а пригнічення гармонік напруги навантаження в широкому діапазоні частот здійснюється по внутрішньому контуру додаткового негативного зворотного зв'язку, виконаного на датчику змінної складової ДПС і підсилювачі К.

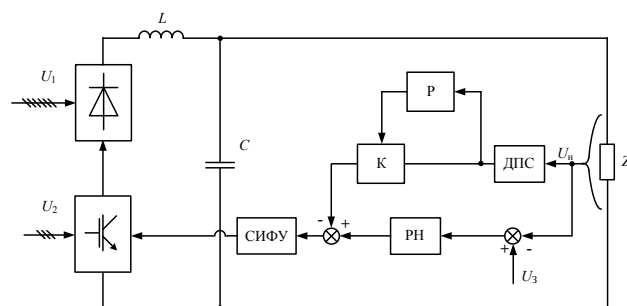


Рис. 1. Замкнута САР випрямляючого агрегату з широтно-регульованим ВДП

Регулятор Р призначений для забезпечення інваріантності ступеню пригнічення гармонік напруги навантаження до зміни режимів роботи живлячої мережі і навантаження за рахунок адаптивного регулювання коефіцієнта посилення ланки К. При використанні широтно-регульованого ВДП в якості широкосмугового активного фільтру, основним завданням Г-подібного LC-фільтру є пригнічення гармоніки напруги несучої частоти ВДП.

Для забезпечення ефективної стабілізації напруги в умовах стохастичного і різко змінного характеру тягового навантаження канал регулювання напруги випрямляча має бути оптимізований по швидкодії, що можливо за рахунок застосування методу параметричного формування процесу кінцевої тривалості. У такому разі перехідний процес в САР закінчується за час, рівний

$$t_{\text{шп}} = n \cdot T, \quad (1)$$

де n – порядок характеристичного рівняння приведеної безперервної частини замкнутої структури САР;

T – період дискретності широтно-регульованого випрямляча.

Реалізація в каналі регулювання напруги процесів кінцевої тривалості (ПКД) дозволить компенсувати гармоніки напруги навантаження по колу зворотного зв'язку основної координати подібно до того, як це отримано в [4]. Частотний діапазон, в якому можливе таке пригнічення, обмежений граничною частотою, що визначається теоремою Котельникова.

Відповідно до [4, 5], запропонована САР випрямляючого агрегату з широтно-регульованим ВДП повинна відповідати вимогам астатизму, тобто мати нульову помилку регулювання як вихідної напруги тягової підстанції в сталому режимі, так і компенсації змінної складової напруги навантаження. Ця вимога досягається введенням інтегральної частини в регулятор напруги РН, а також застосуванням адаптивного зворотного зв'язку по контурному коефіцієнту пригнічення гармонік напруги навантаження.

Реалізація в САР з широтно-регульованим ВДП граничної швидкодії і вимоги астатизму дозволить досягти інваріантності даної системи до змін режимів роботи живлячої мережі і тягового навантаження, чим дозволить забезпечити електромагнітну сумісність (ЕМС) випрямляючого агрегату з контактною мережею.

Канали регулювання напруги і пригнічення гармонік випрямляючого агрегату характеризуються різною швидкодією і відмінністю смуг пропускання, чим мінімується вплив каналу компенсації гармонік на перехідні процеси в каналі регулювання напруги широтно-регульованого ВДП і реалізується принцип часового розділення процесів [5, 6], що дозволяє розглядати і досліджувати їх незалежно один від одного. Такі відмінності в характеристиках каналів дозволяють застосувати аналогічну [7, 8] термінологію і дану САР вважати двоканальною. У такій системі високочастотний канал відповідає за компенсацію гармонік в діапазоні частот $f_{\text{min}} \div f_{\text{max}}$, а низькочастотний канал відповідає за регулювання вихідної напруги випрямляючого агрегату і попереднє пригнічення низькочастотних гармонік нижче частоти f_{min} за рахунок оптимізації каналу по швидкодії.

3. Мета статті

Метою даної статті є дослідження властивостей системи «випрямляч з вольтододавальним перетворювачем – навантаження» та отримання рівнянь її динаміки.

4. Основна частина

Для отримання рівняння динаміки випрямляючого пристрою з трифазним мостовим широтно-регульованим ВДП на рис. 2 представлена узагальнена еквівалентна нульова схема.

У приведеній схемі трансформатор m -фазного випрямляючого агрегату і живляча мережа представлені у вигляді системи ЕРС $e_{\phi 11} - e_{\phi 1m}$ (для некерованого випрямляча) і $e_{\phi 21} - e_{\phi 23}$ (для ВДП), приведених індуктивності L_{ϕ} і активного опору R_{ϕ} . Коло навантаження містить індуктивність L_n , активний опір R_n і джерело проти-ЕРС e_n . Усі параметри в схемі прийняті лінійними. Повністю керовані ключі $VT1 - VT3$ розглядаються як ідеальні елементи, що здійснюють миттєву комутацію при подачі імпульсу управління прямокутної форми.

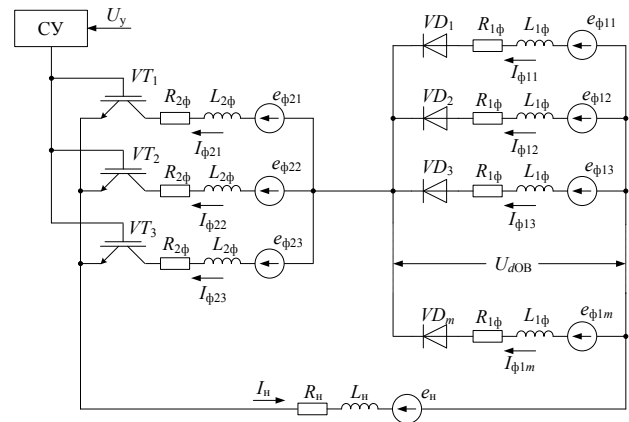


Рис. 2. Еквівалентна схема m -фазного випрямляючого пристрою з широтно-регульованим ВДП

Виходячи з рис. 2, витікає, що m -фазний випрямляючий пристрій з широтно-регульованим ВДП на кожному інтервалі дискретності некерованого випрямляча можна розглядати у вигляді широтно-імпульсного перетворювача другого роду, а еквівалентну схему звести до виду, показаного на рис. 3. У роботі [9] так само спрощена силова частина m -канального широтно-імпульсного перетворювача, включеного на виході випрямляючого пристрою, а в роботах [9, 10] стверджується, що широтно-регульований ВДП можна приблизно розглядати з боку навантаження як еквівалентний знижуючий широтно-імпульсний перетворювач.

У цій схемі (рис. 3) вхідне коло представлено у вигляді джерела напруги

$$e_{\phi} = e_{\phi 1m} + e_{\phi 2n}, \quad (2)$$

де $n=1, 2, 3$ – номер фазної ЕРС широтно-регульованого ВДП на рис. 2.

Силовий ключ VT_n і зворотний діод VD прийняті ідеальними елементами, що здійснюють миттєву комутацію і мають нульовий опір в провідному і нескінченно велике в неспровідному станах. Управління ключем VT_n здійснюється подачею імпульсів прямокутної форми від системи управління СУ з односторонньою широтно-імпульсною модуляцією.

Аналогічно початком відліку часу для запису диференціальних рівнянь, що описують процеси у випрямляючому пристрої з широтно-регульованим ВДП, приймаємо початок формування опорного сигналу на n -му тактовому інтервалі, якому відповідає перехід силового ключа VT_n в провідний стан. У такому разі, процес протікання струму в навантаженні описується системою рівнянь

$$\begin{cases} (L_\phi + L_n) \frac{di_n}{dt} + i_n(R_\phi + R_n) = e_\phi - e_n \\ L_n \frac{di_n}{dt} + i_n R_n = -e_n \end{cases}, \quad (3)$$

де $L_\phi = L_{1\phi} + L_{2\phi}$; $R_\phi = R_{1\phi} + R_{2\phi}$.

Система рівнянь (3) показує кусочно-лінійні властивості випрямляючого пристрою з широтно-регульованим ШИМ на інтервалі провідності некервованого випрямляча. Перше рівняння системи визначає струм в колі навантаження під час замкнутого стану силового ключа VT_n , а друге - під час розімкненого.

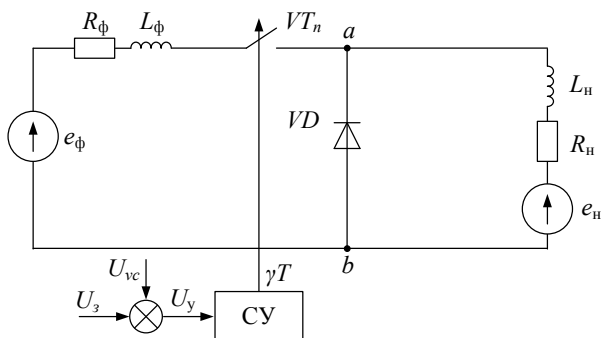


Рис. 3. Схема заміщення випрямляючого пристрою з широтно-регульованим ВДП на інтервалі провідності некервованого випрямляча

Для повного опису кусочно-лінійної системи доповнимо систему рівнянь (2) умовами перемикання. Перша умова перемикання ґрунтується на принципі роботи безінерційної системи управління широт-

но-регульованого ВДП, що реалізовує вертикальний принцип управління. Вона пов'язує величину сигналу управління $U_y(t_n)$ на вході СУ широтно-регульованого ВДП з тривалістю вихідного імпульсу перетворювача і визначає перехід від першого рівняння системи (3) до другого

$$U_y(t_n) = U_{оп}(t_n), \quad (4)$$

де $U_{оп}(t_n)$ – опорний сигнал СУ;
 $t_n = \gamma_0 T$ – момент часу, що відповідає перемикаю на n -ому інтервалі широтно-регульованого ВДП з інтервалом дискретності T .

Друга умова перемикання виконується у момент зниження струму навантаження до нуля під час розімкненого стану ключа VT_n і функціонально пов'язана з першою умовою перемикання

$$i_n(t_n, t_n + \tau) = 0, \quad (5)$$

де τ – час спаду струму навантаження до нуля.

Умова перемикання (5) виконується під час переходу випрямляючого агрегату в режим переривчастого струму, тобто коли e_n стає більшим за середнє значення напруги U_{ab} імпульсної послідовності на виході випрямляючого агрегату (рис. 3). В цьому випадку на кожному n -му інтервалі дискретності широтно-регульованого ВДП з'являється безструмова пауза.

Система рівнянь (3 – 5) дозволяє описувати динамічні процеси у випрямляючому пристрої з широтно-регульованим ВДП.

5. Висновки

Отримана система рівнянь (3 – 5) дозволяє описувати процеси у випрямляючій установці з широтно-регульованим ВДП. За допомогою отриманих рівнянь динаміки можна синтезувати імпульсну модель випрямляючого агрегату з широтно-регульованим ВДП, яка враховує наявність змінної складової у вихідній напрузі випрямляючого агрегату і на вході системи управління ВДП.

Література

1. Щербак, Я. В. Теоретические основы и методы регулирования субгармоник полупроводниковых преобразователей электроэнергии [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.09.12 / Щербак Яков Васильевич. – Харьков, 2001. – С. 112–116.
2. Щербак, Я. В. Замкнутые системы компенсации неканонических гармоник полупроводниковых преобразователей [Текст] / Я. В. Щербак – Харьков: ХФИ «Транспорт Украины», 1999. – С. 98–103.
3. Слободчиков, И. В. Повышение качества электрической энергии тяговой подстанции постоянного тока методами активной фильтрации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 / И. В. Слободчиков // Харьков, 2011. – С. 42–45.
4. Божко, В. В. Стабілізуючі перетворювальні агрегати вольтододаткового типу підвищеної ефективності для тягового електропостачання постійного струму електрифікованих залізниць [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 / Божко Володимир Вячеславович. – Харьков, 2010. – С. 58–63.
5. Гончаров, Ю. П. Аномальные и переходные режимы преобразователя вольтодобавочного типа для тяговых подстанций постоянного тока [Текст] / Ю. П. Гончаров, В. В. Замаруев, В. В. Ивахно, Н. В. Панасенко, В. В. Божко, та ін. // Дніпропетровськ.: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 27. – С. 61–66.
6. Enjeti, P. “A new control strategy to improve the performance of a PWMAC to DC converter under unbalanced operating conditions” [Текст] / P. Enjeti and S. A. Choudhury // IEEE-PESC Conf. – 1991. – P. 382–389.

7. Rioual, P. "Regulation of a PWM rectifier in the unbalanced network state" [Текст] / P. Rioual, H. Pouliquen, and J. P. Louis // in Proc. IEEE-PESC Conf., 1993. — P. 641–647.
8. Heydt, G. T. "Second harmonic components in power system voltages and currents" [Текст] / G. T. Heydt, Y. Liu // IEEE Transactions on Power Delivery. — 2006. — Vol. 20, No. 1. — P. 521–523.
9. Phodke, A.G. "Generation of Abnormal Harmonics in High-Voltage AC-DC Power System" [Текст] / A.G. Phodke, J.H. Harlow // IEEE Trans. Power Appar. and Syst. — 1968. — Vol 87, №3. — P. 223–239.
10. Reeve, J. "Unusual Current Harmonics Arising for High-Voltage DC Transmission" [Текст] / J. Reeve, P.S. Krishnayya // IEEE Trans. Power Appar. and Syst. — 1968. — Vol.87, №3. — P.883–892.

В даній статті запропоновано інтегральний критерій оцінки ефективності струмових конвеєрів. Проведено комп'ютерне моделювання струмових конвеєрів на одному, двох і вісімнадцяти транзисторах та порівняння їх ефективності. Показано, що найбільш ефективним для побудови перетворювачів іміданса та інформаційних пристроїв на їх основі є конвеєр струму на одному транзисторі

Ключові слова: струмовий конвеєр, критерії ефективності, перетворювачі іміданса, негatronіка

В данной статье предложен интегральный критерий оценки эффективности токовых конвейеров. Проведено компьютерное моделирование токовых конвейеров на одном, двух и на восемнадцати транзисторах и сравнение их эффективности. Показано, что наиболее эффективным для построения преобразователей имиданса и информационных устройств на их основе является конвейер тока на одном транзисторе

Ключевые слова: токовый конвейер, критерии эффективности, преобразователи имиданса, негatronіка

УДК 621.372.6

КРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Н. А. Филинук

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: Filinyuk@vstu.vinnica.ua

А. А. Лазарев

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: Alexander.Lazarev.VNTU@gmail.com

Л. Б. Лищинская

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: L_Fil1@mail.ru

В. П. Стахов*

E-mail: L_Fil1@mail.ru

*Кафедра проектирования компьютерной и

телекоммуникационной аппаратуры

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95,

г. Винница, Украина, 21021

1. Введение

В настоящее время интенсивно развивается схемотехника информационных устройств (ИУ) на основе токовых конвейеров [1]. Токовый конвейер (ТК) - новый базовый элемент для построения электронных схем, который в 1968 году предложили Седра (Sedra A.S.) и Смит (Smith K.C.) [2]. В 1970 году они предложили усовершенствованный вариант конвейера тока второго поколения ССII (Current Conveyor of the Second generation) [3], который оказался более продуктивным блоком для построения электронных схем. Конвейер тока является базовым блоком, на базе которого можно реализовать все схемы, которые реализуются на операционных усилителях (масштабные преобразователи, интеграторы, дифференциаторы, сумматоры, конверторы и инверторы сопротивлений, активные фильтры и т.д.) [4]. К сожалению, токовые конвейеры не получили тогда развития, так как в это же время начали активно развиваться операционные усилители, как базовые эле-

менты для построения различных схем; многие фирмы наладили их производство, и интерес к токовым конвейерам на начальном этапе пропал. И только в 90-х годах прошлого столетия интерес к токовым конвейерам опять возродился, так как появилась необходимость в более высокочастотных и энергоэффективных схемах. Токовый подход обеспечивает определенные преимущества в сравнении с работой с напряжениями: большие быстродействие и частотный диапазон, так как схемы могут работать на частотах до f_T транзисторов; нет необходимости обеспечивать большие значения коэффициентов усиления, так как для токовых конвейеров коэффициент передачи тока равен единице; они имеют высокую точность, так как нет необходимости в использовании прецизионных резисторов для преобразования токов в напряжения, и схемы могут быть построены только на транзисторах; имеют меньшую потребляемую мощность, так как в этом случае схемы меньше чувствительны к нелинейным искажениям, которые возникают при работе с малыми напряжениями