

ТРИРІВНЕВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВІБРОЗАНУРЮВАЧЕМ З ЛІНІЙНИМ ЗБУДЖУВАЧЕМ КОЛИВАНЬ

Макогон С.А.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Україна, 03037, Київ, пр. Повітрофлотський 31, КНУБА, кафедра Електротехніки та електроприводу
тел. (044) 241-55-65, E-mail: mcogon@ukr.net

Запропоновано використання лінійного збуджувача коливань для віброзанурювача, розглянуто процес вібраційного занурення палі та запропоновано трирівневу систему його автоматизації. Дано характеристику кожному рівню в залежності від наявності інформації про систему, описано область застосування. Дано практичну реалізацію нижнього рівня автоматизації.

Предложено использование линейного возбудителя колебаний для вибропогружателя, рассмотрено процесс вибрационного погружения свай и предложено трехуровневую систему его автоматизации. Дана характеристика каждого уровня в зависимости от наличия информации о системе, описана область использования. Дано практическую реализацию нижнего уровня автоматизации.

ВСТУП

Віброзанурювачі використовуються для занурення будівельних елементів у ґрунти, головним чином водонасичені. Принцип їх роботи базується на тому, що під час вібрації у контактній зоні значно зменшується тертя, що зумовлене розрідженням ґрунту, і палі занурюється під дією сили тяжіння. Відомі традиційні конструкції вібраторів, що мають один чи декілька дебалансних валів з приводом від двигуна обертання [1-2].

Такі конструкції мають ряд суттєвих недоліків, а саме: недовговічність дебалансних валів, підшипників (через значні динамічні навантаження); утворення зайвих бокових коливань (що знижує ККД вібратора) та необхідність в синхронізації обертання дебалансів. Застосування електромагнітних вібраторів обмежене низьким значенням питомого тягового зусилля і його залежністю від положення якоря, а також невисоким ККД [5]. Для зменшення цих недоліків пропонується використовувати електричний вібратор з коаксіально-лінійним індукційним двигуном (ЕВКЛІД) [3-6].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Загальний вигляд ЕВКЛІД показано на рис. 1. Він складається з: корпусу 1; магнітопровода 2; струмового шару 3; якоря 4; постійних магнітів 5; концентраторів 6; стрижня якоря 7; платформи 8; рим-болта 9; втулки з'єднувальної 10; підшипника ковзання 11; пружини 12; скоби 13; фланця 14.

Відомо, що найкраще занурення будівельних елементів у ґрунт відбувається на резонансній частоті системи "віброзанурювач-будівельний елемент-ґрунт". Віброзанурювач має найбільший ККД, коли працює на резонансній частоті. Якщо ці частоти співпадають або близькі між собою, то віброзанурення відбувається найшвидше і з найменшими втратами енергії. Це особливо актуально при масовому зануренні чи при зануренні будівельних елементів із застосуванням потужних вібраторів.

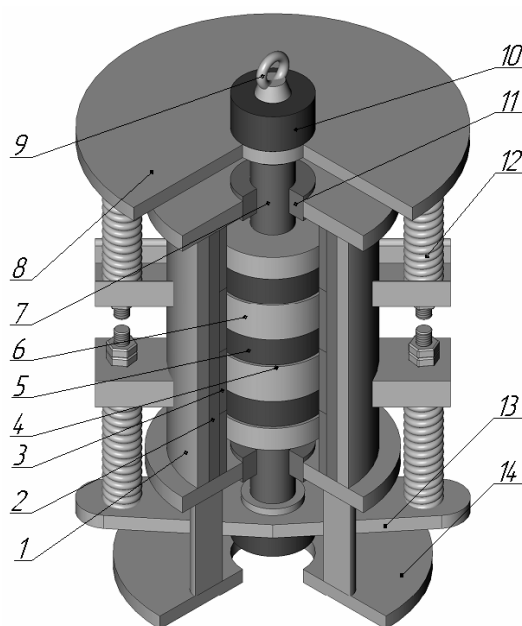


Рис. 1. Загальний вигляд ЕВКЛІД

Знаходженню резонансної частоти системи "віброзанурювач-будівельний елемент-ґрунт" перешкоджає те, що існуючі теорії ґрунтів не дають змогу змодельовати процес вібраційного занурення палі і отримати залежність швидкості занурення від глибини занурення. Також відсутня інформація про різні шари ґрунтів та про зміну параметрів ґрунтів з глибиною. Водночас, існують загальні рекомендації, такі, як необхідність збільшення частоти коливань віброзанурювача зі збільшенням глибини занурення, що пов'язано із збільшенням витрат енергії [7].

Резонансна частота віброзбуджувача регулюється за допомогою використання пружних елементів зі змінною жорсткістю, зокрема, з магнітним підвісом, та перетворювача частоти.

Пропонується використовувати три рівня керування віброзанурювачем, в залежності від потужності приводу та наявної інформації про систему (рис. 2):

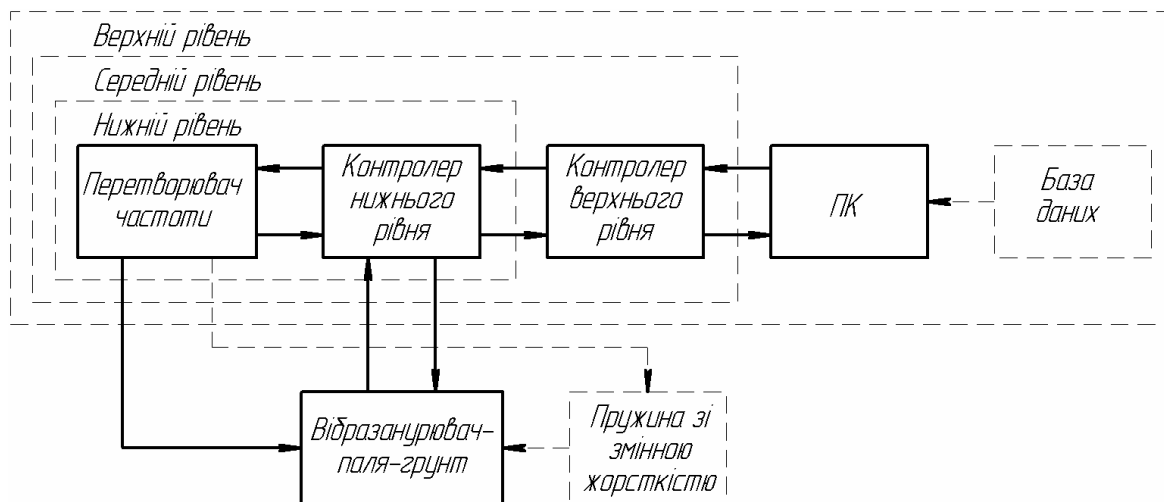


Рис. 2. Тривірнева схема автоматизації віброзанурювача

Нижній рівень. Використовується контролер малої потужності (наприклад, сімейства Atmel Tiny). При достатній інформації про систему: складається з перетворювача частоти, параметри коливань – частота та амплітуда – регулюються оператором вручну і встановлюються за допомогою таблиці (в залежності від типу ґрунту та палі) [1, 2], форма коливань не змінна (гармонійні) і задана у пам'яті контролера. За відсутності інформації реалізується алгоритм вільних коливань на власній резонансній частоті віброзбуджувача з контролером по проти-ЕРС [8, 9].

Цей рівень керування пропонується використовувати за відносно невеликих потужностей при зануренні легких будівельних елементів (шпунтів, труб) у водонасичених ґрунтах (потужність віброзанурювача $P < 15$ кВт). Застосування його практично не вимагає додаткових витрат у порівнянні з класичними системами, що використовують перетворювачі частоти.

Середній рівень. Використовується потужний контролер. При достатній інформації застосовується класичний алгоритм найшвидшого спуску та ПІД-регулятор, з урахуванням потрібного закону зміни напруження від частоти ($U/\sqrt{f} = \text{const}$, $U/f = \text{const}$ або інший). Важливим є введення таких параметрів, як мінімально допустима прийнятна швидкість занурення та швидкість зміни частоти, що пов'язано з перехідними процесами у системі. При частковій інформації застосовуються алгоритми нечіткої логіки з регулюванням виду функцій приналежності в процесі занурення. За відсутності інформації: алгоритм "імітації відпалення" [10], де крок пошуку зменшується з наближенням до оптимуму, далі перехід на алгоритм найшвидшого спуску або його модифікації.

Пропонується використовувати при зануренні паль, важких шпунтів ($P = 15..50$ кВт).

Верхній рівень. Використовується потужний контролер та ПК (можливо з доступом до мережі). При достатній інформації: використовується інформація з баз даних про попередні занурення в цьому районі, далі перехід до середнього рівня. За відсутності інформації системи, що здатні до самостійного навчання (на базі нейронних мереж).

Пропонується використовувати при зануренні важких паль, кесонних фундаментів та інших елементів у складних ґрунтових умовах ($P > 50$ кВт).

Отримання інформації. На кожному з етапів можливе часткове отримання інформації про умови занурення. Це може бути: серія пробних занурень на різних частотах із записом ходогам; використання бази даних по вже занурених палях; використання навчених нейронних мереж; попередній геологічний аналіз ґрунтових умов і т.п. Для прийняття рішення про шляхи отримання інформації потрібно керуватися техніко-економічною доцільністю, а саме: об'ємами робіт з встановлення будівельних елементів; можливістю проведення геологічної розвідки у повному обсязі; результатами пробних встановлень і т.п.

Практична реалізація. На даному етапі створено схему керування нижнього рівня на базі перетворювача частоти і апробовано її на практиці. Схематично зображена на рис. 2. Основою схеми керування є мікроконтролер МК ATtiny 26L із вбудованими вузлами АЦП та ШІМ і занесеною безпосередньо у програмну пам'ять таблицею синусів (1/4 періоду, 256 восьмирозрядних відліків за період). У якості силових ключів КС використані MOSFET транзистори із відповідними драйверами Др.

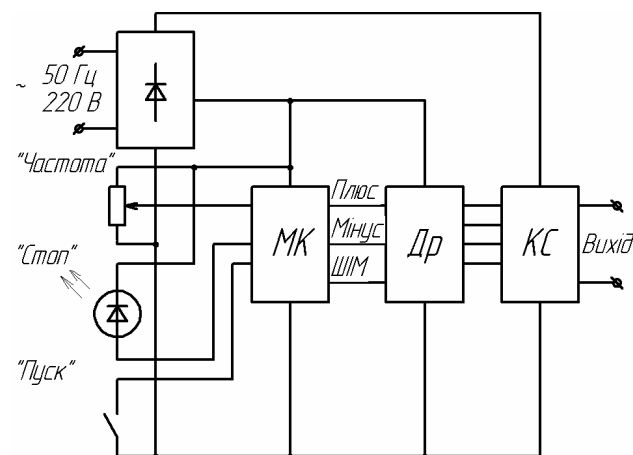


Рис. 3. Реалізація схеми керування нижнього рівня на базі перетворювача частоти

Для роботи у режимі вільних коливань пропонується використовувати алгоритм безсенсорного пошуку резонансної частоти вібратора, за основу якого взятий алгоритм, запропонований у [9] (рис. 4).

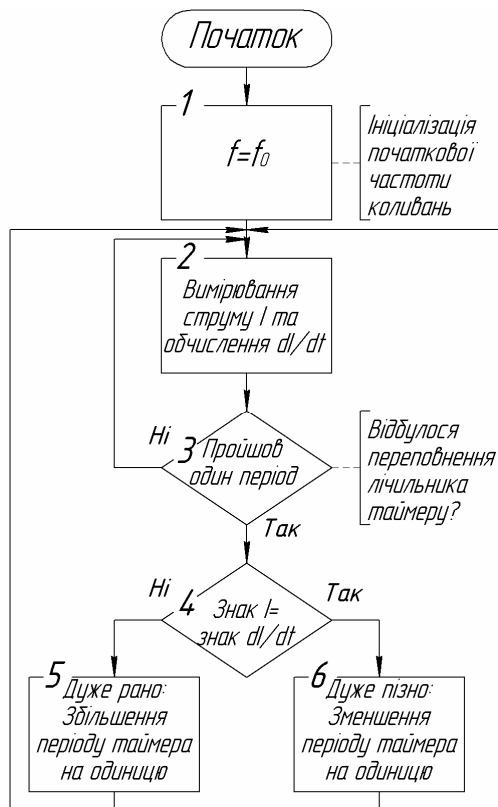


Рис. 4. Алгоритм безсенсорного пошуку резонансної частоти вібратора

Принцип дії алгоритму базується на тому, що коли до вібратора не прикладена напруга з боку перетворювача частоти, то проти-ЕРС, що генерується якорем вібратора, пропорційна похідній струму. Завдяки цьому можливо отримати співвідношення між швидкістю якоря та похідною струму:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_{пч} - E_{пр}}{L} = -\frac{E_{пр}}{L} = -\frac{k_e \cdot V_{як}}{L}$$

де i - сила струму, А; $U_{пч}$ - напруга перетворювача частоти, В; $E_{пр}$ - проти-ЕРС, В; L - індуктивність вібратора, Гн; $V_{як}$ - швидкість якоря, м/с; k_e - електрична постійна машини.

Пружина зі змінною жорсткістю. У якості цих елементів широко застосовуються різні типи пневматичних та електромагнітних підвісів. Пневматичні підвіси (пневмобалони) вимагають застосування компресора, мають низький ККД (особливо на високих частотах коливань) та високу інерційність; використовують енергію при зміні жорсткості. Електромагнітні підвіси [11-12] постійно використовують енергію під час роботи, її витрати зростають зі збільшенням коефіцієнту жорсткості, проте вони мають низьку інерційність і просту конструкцію. Застосування постійних магнітів (зокрема, типу NdFeB) підвищує тягові характеристики електромагнітного підвісу.

ВИСНОВКИ

Розглянута трирівнева система керування роботою віброзанурювачів різних потужностей дає змогу використовувати їх на резонансній або близькій до неї частоті, що є найбільш оптимальним.

Запропонована реалізація схеми на базі перетворювача частоти дала змогу побудувати на практиці систему керування нижнього рівня.

Середній та верхній рівень системи керування, а також робота вібратора з електромагнітним підвісом потребують подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Азбель Г.Г., Блехман И.И., Быховский И.И. и др. / Ред. сов: Челомей (пред.) / Под ред. Левендела Э.Э. Вибрации в технике. Справочник. В 6 т. - М.: Машиностроение, 1981. - Т. 4: Вибрационные процессы и машины - 509 с.
- [2] Бауман В.А., Быховский И.И., Гольдштейн Б.Г. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1970. - 547 с.
- [3] Богаєнко М.В., Бондар Р.П., Голенков Г.М., Голуб В.П., Макогон С.А., Павленко П.В., Попков В.С. Віброзбудувач. Деклараційний патент на корисну модель №14111 заявка № а 2005 10789 від 15.11.2005.
- [4] Богаєнко М.В., Голенков Г.М., Голуб В.П., Павленко П.В., Попков В.С., Чомкалова І.О. Віброзанурювач. Деклараційний патент на винахід №20031213225 від 17.01.2005.
- [5] Голенков Г.М., Бондар Р.П., Макогон С.А., Богаєнко М.В., Попков В.С. Моделювання роботи електричного вібратора з коаксіально-лінійним індукційним двигуном при різних законах регулювання // Технічна електродинаміка. - 2007. - №2 - С. 54 - 59.
- [6] Голенков Г.М., Бондар Р.П., Макогон С.А., Подольцев А.Д., Богаєнко Н.В., Попков В.С. Численный расчёт магнитного поля и основных характеристик электровибратора на основе коаксиально-линейного двигателя с постоянными магнитами. - Харьков.: "Електротехника і електромеханіка" №1, 2007. - С. 8 - 12.
- [7] Иносов В.Л., Антонюк Л.С., Черепина И.С. Влияние частоты вибропогружателя на энергоёмкость и скорость погружения свай. - В сб.: "Горные, строительные и дорожные машины". Вып. 17. К.: Техніка, 1974.
- [8] Ito Y., Saha S., Kishibe T. Closed loop control of linear vibration actuator. Patent WO 2004/075658 A1.
- [9] Hoff E., Brennvall J.E., Nilssen R., Norum L. High power linear electric machine - made possible by gas spring. (<http://www.elkraft.ntnu.no/norpie/10956873/Final%20Papers/074%20-%20LinLabNORPIE3.pdf>)
- [10] Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс; пер. с англ. Осипов А. И. - М.: ДМК Пресс, 2006 - 312 с.: ил.
- [11] Ивашин В.В. и др. Резонансный вибратор. Патент RU 2177840 C2.
- [12] Akira Chiba, Tadashi Fukao, Osamu Ichikawa, Masahide Oshima, Masatsugu Takemoto and David G. Dorrell. Magnetic Bearings and Bearingless Drives - Integra Software Services, 2005.

Надійшла 06.06.2007