

УДК 004.9:681.5

DOI: 10.20998/2411-0558.2022.02.07

М. В. ДЕРКАЧ, канд. техн. наук, доц., СХУ ім. В. Даля, Київ, ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль,

А. Ю. ЄРЬОМЕНКО, студент, СХУ ім. В. Даля, Київ

ЦИФРОВИЙ БЛОК КЕРУВАННЯ ІМПУЛЬСНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА STM32G474RET6

Стаття присвячена питанню розробки цифрового блоку керування на основі спеціалізованого мікроконтролера STM32G474RET6, що дозволить удосконалити програмний алгоритм керування імпульсним джерелом живлення. Розроблений блок складається з мінімальної кількості компонентів і є універсальною основою для керування у високопотужних джерелах живлення зі складними топологіями. Програма мікроконтролера ефективно використовує обчислювальні ресурси новітнього апаратного забезпечення. Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: блок; джерело; імпульс; мікроконтролер; керування.

Постановка проблеми. Сучасні електронні пристрої, зокрема обчислювальні машини, мобільні телефони, пристрої безперервного живлення, потребують потужних і стабільних зарядних пристроїв. З 70-х років ХХ ст. рішенням залишаються імпульсні джерела живлення. Але на сьогодні широкого поширення набуває електротранспорт, автономна робототехніка і сонячні електростанції, які потребують потужних перетворювачів електроенергії в більш компактних габаритах і з меншою масою. Зберігається тенденція до зменшення розмірів електронних пристроїв, їх інтеграції до автоматичних систем і мереж. Через збільшення попиту на різноманітні електронні пристрої, актуальним є питання спрощення і пришвидшення процесу розробки. Водночас, виникають вимоги до енергозбереження і енергоефективності сучасної електроніки. За останні роки розвиток напівпровідникових технологій дозволив зменшити габарити силових блоків живлення за рахунок збільшення робочої частоти, а складні топології дозволяють зробити їх достатньо потужними і безпечними. Проте для їх ефективного застосування необхідні й відповідні швидкодіючі засоби керування. Застосування цифрових блоків керування на основі спеціалізованих мікроконтролерів дозволяє реалізувати високоточні і швидкі алгоритми автоматичного регулювання пристроїв, інтегруючи при цьому й більшість допоміжних елементів до єдиної мікросхеми.

© М.В. Деркач, А.Ю. Єрьоменко, 2022

Аналіз літератури. Робота [1] демонструє дослідження мікроконтролерного керування режимом пікового струму понижувального перетворювача. У роботі [2] представлено цифрову реалізацію методу керування піковим струмом у двонаправленому понижувально-підвищувальному перетворювачі постійного струму, як альтернативне рішення для схем керування режимами напруги та гістерезису. У роботі [3] автори розробили систему керування на основі мікроконтролера для зміни швидкості двигуна постійного струму. Техніка широтно-імпульсної модуляції (ШІМ, англ. pulse-width modulation, PWM) використовувалася для контролю потужності, що подається на навантаження, без розсіювання будь-якої втраченої енергії. Простим і легким методом є використання техніки ШІМ, яка може бути досягнута шляхом керування двигуном постійного струму кількома імпульсами "ввімкнення" та "вимкнення" та зміною шпаруватості імпульсів при збереженні частоти постійною [4]. У розділі [5] представлено реалізацію тричленного ПІД-регулятора з використанням мікроконтролера Microchip PIC18F452. Для зчитування даних у контролер використовується 10-розрядний інтегрований АЦП; і для зчитування даних з машини використовується зовнішній 12-розрядний послідовний ЦАП.

Метою статті є розробка цифрового блоку керування на основі ефективного використання спеціалізованого мікроконтролера, що дозволить удосконалити програмний алгоритм керування імпульсним джерелом живлення.

Основний зміст роботи. Імпульсні джерела (англ. switched-mode power supply, SMPS) складаються мінімум з трьох основних компонентів:

1. Напівпровідниковий ключ.
2. Високочастотний трансформатор або дросель.
3. Схема керування.

Перемикаючись з високою частотою, яку задає схема керування, ключ утворює в обмотках трансформатора (дроселя) імпульси, що дало назву цьому типу пристроїв.

Для підтримання бажаних величин напруги або струму, частота та тривалість імпульсів, які утворюють ключі в силовому блоку, мають бути подані схемою керування. Як правило, джерела живлення мають два режими роботи – з регулюванням по напрузі (англ. Constant Voltage, CV) і регулюванням по струму (Constant Current, CC). Ці параметри залежать від типу керування – найбільш поширеним на сьогодні є керування широтно-імпульсною модуляцією. Кількість імпульсів за одиницю часу, відповідно і частота роботи ШІМ є незмінною. Змінюється тривалість імпульсів, проте

для керування ШІМ звичайно визначають не час, а так звані "коефіцієнт заповнення" (англ. duty cycle) – безрозмірну величину від 0 до 1. Чим більше "ширина" імпульсів, тим довше відкритий ключ, відповідно більше енергії подається в накопичувач.

Одним з найпростіших алгоритмів автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком є пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор. Такий тип регуляторів є універсальним, і може бути застосований в багатьох системах автоматичного керування, зокрема в регуляторі імпульсного джерела живлення як з ШІМ-керуванням, так і в резонансному режимі.

ПІД регулятор формує сигнал керування, який є сумою трьох складових: пропорційної, інтегральної і диференційної [6]. Вихідний сигнал $u(t)$ характеризується рівнянням:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}, \quad (1)$$

де e – похибка регулювання, K_p – коефіцієнт підсилення пропорційної складової, K_i – коефіцієнт підсилення інтегральної складової, K_d – коефіцієнт підсилення диференційної складової.

Для дискретної реалізації рівняння 1 набуває вигляду:

$$u(n) = K_p e(n) + K_p K_{ip} \sum_{k=0}^n e(k) + \frac{K_p K_{dp}}{t} (e(n) - e(n-1)), \quad (2)$$

де t – час дискретизації.

Основною складовою є пропорційна (P). Вона коригує похибку регулювання e – різницю поточного значення з датчика і установки.

$$e = y - r, \quad (3)$$

де y – поточна величина, r – установка.

Більша похибка призводить до більш різкої зміни сигналу керування. Рівень сигналу керування, таким чином, прагне досягти нульового рівня, але ніколи не дорівнює 0. Робота регулятора можлива лише з пропорційною складовою, але недоліком P -складової залишається низька точність регулювання і можливість перевищення необхідного рівня регуляції (перерегулювання) і виникнення зайвих коливань. Для збільшення точності регулювання, додається інтегральна складова I , в якій похибка накопичується (інтегрується по часу) і виправляється з більшою точністю.

Диференційна складова відповідає за компенсацію різких змін сигналу керування, і необхідна для швидкодіючої системи регулювання. Ця частина може призвести до нестабільної роботи регулятора при великій кількості шуму з датчика поточної величини, і вимагає наявності в ланцюгу зворотного зв'язку фільтру. Налаштування коефіцієнтів є необхідним при реалізації регулятора в реальній системі. Цей процес залежить від об'єкту керування, і одним з поширених методів є експериментальний підбір коефіцієнтів.

Спеціалізовані контролери можуть бути поставлені з відповідним програмним забезпеченням для налаштування (тюнерами). Універсальні тюнери входять до складу математичних пакетів програмного забезпечення, таких як MATLAB (рис. 1), і можуть бути використані для налаштування параметрів при симуляції системи [7, 8].

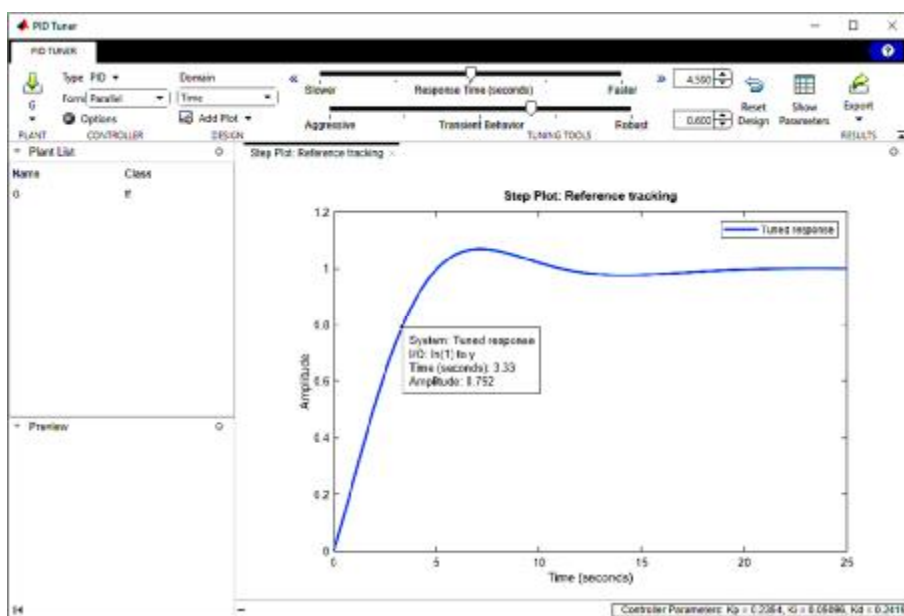


Рис. 1. Модуль налаштування ПІД регулятора в середовищі MATLAB

Програмна реалізація ПІД регулятора для корекції робочого циклу широтно-імпульсної модуляції представлена наступним фрагментом коду:

```
void PWM_Duty_Change()
{
    const float Kp = 0.01; //Коефіцієнт підсилення П
    const float Ki = 0.01; //Коефіцієнт підсилення І
    const float Kd = 0.0001; //Коефіцієнт підсилення Д
    int Set_Point = 353; // Установка
    int Err_Value; // Похибка
```

```

int P_Term;
int I_Term;
int D_Term;
int new_ADC_value;
int PWM_Duty;
new_ADC_value = read_ADC();
Err_Value = (Set_Point - new_ADC_value);
P_Term = Kp * Err_Value; //обчислення P
i_Temp += Err_Value; //накопичення похибки
I_Term = Ki * i_Temp; //обчислення I
D_Term = Kd * (d_Temp - Err_Value); //обчислення D
d_Temp = Err_Value;
PWM_Duty = PWM_Temp - (P_Term + I_Term + D_Term);
adjust_PWM(PWM_Duty); //оновлення робочого циклу ШІМ
PWM_Temp = PWM_Duty;
}

```

Висока робоча частота імпульсного блоку живлення призводить до наявності завад і високочастотних шумів в сигналах з датчиків напруги і струму. Диференційна складова регулятора дуже чутлива до наявності таких шумів, і може призвести до нестабільної роботи всієї системи. Виникає необхідність застосування додаткових фільтрів в ланках зворотного зв'язку. Як фільтри сигналів на аналогових електронних компонентах, так і цифрові фільтри можуть бути описані передавальною функцією і вносять фазову затримку сигналу.

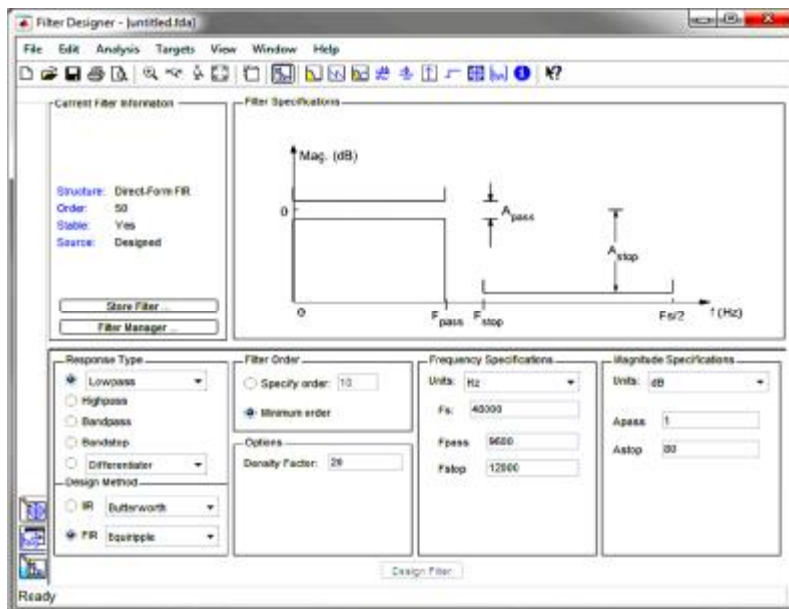


Рис. 2. Модуль проектування цифрових фільтрів в середовищі MATLAB

Для КІХ (англ. Finite Impulse Response – фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою) фільтрів передавальна функція має вигляд [9]:

$$H(z) = \sum_{i=0}^P b_i z^{-i}, \quad (4)$$

де P – порядок фільтру, b_i – відлік дискретного сигналу.

КІХ фільтри мають переваги перед БІХ (англ. Infinite Impulse Response – фільтри з безкінцевою імпульсною характеристикою) фільтрами, такі як стійкість, робота без зворотного зв'язку, фаза КІХ фільтру може бути лінійною. Через відсутність зворотного зв'язку такий тип цифрових фільтрів також має назву нерекурсивний. На відміну від КІХ фільтрів, БІХ мають зворотній зв'язок.

Передавальна функція має наступний вигляд:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^P b_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^P b_i z^{-k}}. \quad (5)$$

За реалізацією БІХ складається з тих самих компонентів, що і КІХ фільтр. Перевагою БІХ фільтрів є можливість досягти відповідних характеристик при значно меншому порядку, ніж у КІХ фільтру. В імпульсних джерелах живлення з цифровим керуванням застосовуються як КІХ, так і БІХ фільтри. Графіки КІХ фільтру позначено суцільною лінією, БІХ фільтру – пунктирною (рис. 2). Оскільки фільтрація сигналу датчиків зворотного зв'язку має відбуватись в реальному часі, для реалізації фільтру в схемі керування імпульсного джерела живлення до мікропроцесора виникають вимоги з високої швидкодії ядра, аналого-цифрових перетворювачів, передачі даних від АЦП до пам'яті доступної ядру мікропроцесора.

Для розробки блоку керування обрано мікроконтролер STM32G474RET6 тому, що мікроконтролери цієї серії мають корпус LQFP64 з 64 виводами і 512 кб вбудованої Flash пам'яті, а для зберігання програми керування і налаштувань блока живлення, мікросхема має бути з достатнім обсягом енергонезалежної пам'яті. Також мікроконтролер має 32-х розрядне ядро ARM Cortex-M4 з тактовою частотою до 170 МГц. Для швидкої взаємодії з периферійними блоками і зовнішніми пристроями, ядро з'єднується з ними 32-х розрядною шиною. STM32G474RE6 містить два контролери прямого доступу до пам'яті (Direct Memory Access, DMA)

по 8 каналів. На кожний канал можна встановити один з 4 рівнів пріоритету передачі. Контролер переривань організовує роботу з сигналами, які генерують блоки при виникненні подій. Програмовані переривання можуть бути розподілені за 16 рівнями пріоритету. Для генерації ШІМ-сигналу керування ключем силового блоку, відведено таймер HRTIM 2.1 (High Resolution Timer з високою роздільною здатністю). Таймер має 16-бітну розрядність, тобто максимальне значення відліків дорівнює $2^{16} = 65536$. 6 пар каналів таймера можуть бути синхронізовані відносно додаткового майстер-таймера, який не має фізичних виводів. Частота ШІМ сигналу встановлюється через тривалість періоду в регістрі HRTIM_PERAR. Необхідне число треба знайти за формулою [10]:

$$PER = \frac{f_{HRCK}}{f_{PWM}}, \quad (6)$$

де PER – значення регістру, яке задає частоту, f_{HRCK} – частота тактування таймера, f_{PWM} – бажана частота ШІМ.

Блок АЦП (англ. Analog-to-digital converter – аналого-цифровий перетворювач) мікроконтролера має окрему лінію живлення для зменшення впливу завад на результати вимірювань сигналу. АЦП мікроконтролера побудований за принципом послідовного наближення з розрядністю до 12 біт і частотою перетворення до 4 мегасемплів на секунду.

Модуль мікроконтролеру Filter Math Accelerator (FMAC) призначений для виконання векторних арифметичних операцій, які реалізуються цифровими фільтрами БІХ і КІХ типу. Оскільки фільтрування сигналу з АЦП у імпульсному джерелі живлення відбувається неперервно під час роботи, виконання обчислень ядром мікроконтролера вимагає значних ресурсів процесора. Виконання фільтрації сигналу в окремому апаратному модулі дозволяє звільнити ресурси ядра мікроконтролера для більш критичних задач.

FMAC містить окрему пам'ять на 256 16-бітних чисел у форматі з фіксованою комою, виділену для реалізації буферів вхідних даних і результатів обчислень.

Коефіцієнти фільтру розраховуються програмою MATLAB Filter Designer і заносяться до структури фільтру в програмі керування. Графічне зображення амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) контуру зворотного зв'язку допомагає наглядно оцінити стійкість системи.

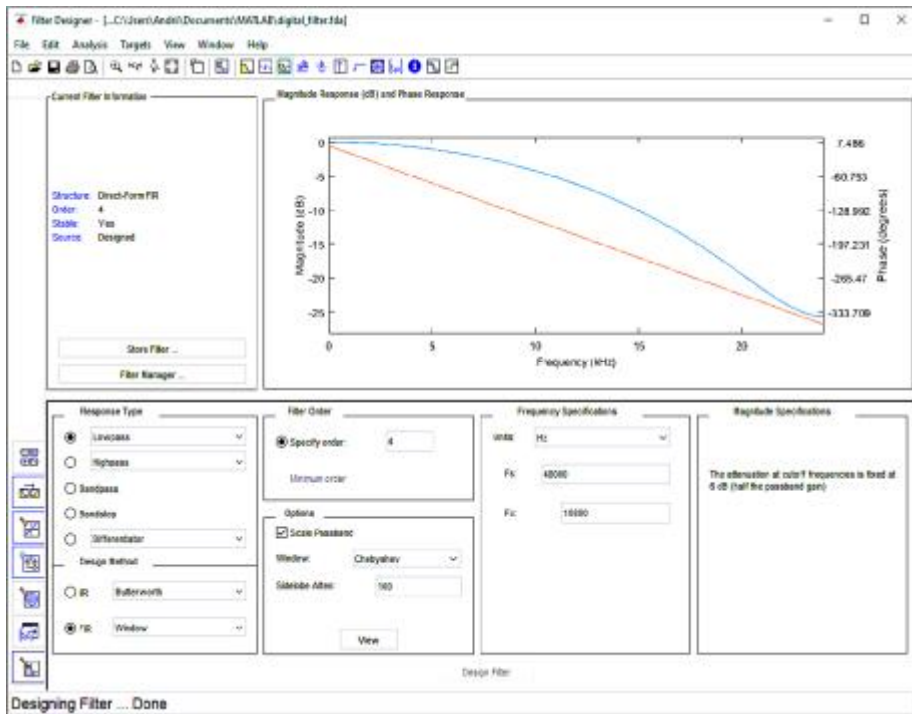


Рис. 3. ЛАФЧХ розрахованого фільтру

При роботі з імпульсними джерелами живлення, як правило, для наглядної характеристики зворотного зв'язку використовують діаграму АФЧХ в логарифмічному масштабі (ЛАФЧХ), яка описує кожну з ланок в ланцюгу керування, які вносять свої зміни в зворотній зв'язок.

Амплітудно-частотну і фазо-частотну характеристики для розрахованого фільтру низьких частот показано на рис. 3. З графіку видно, що отриманий КІХ фільтр 4-го порядку має лінійну фазову характеристику, яка не виходить за обмеження 360° .

Filter Designer дозволяє конвертувати коефіцієнти цифрового фільтру в формат чисел з фіксованою комою в шістнадцятковій системі числення. Результат обчислення експортуємо в текстовий файл, значення з якого занесемо в масив коефіцієнтів.

Віддалене керування джерелом електроенергії потребує наявності інтерфейсу зв'язку з зовнішніми пристроями. Модуль USART/UART (англ. universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter – універсальний синхронний/асинхронний приймач/передавач) забезпечує послідовний обмін даними між двома точками в повнодуплексному режимі.

Частота передачі програмується для STM32G474 в регістрі USART_BRR за формулою [10]:

$$Tx/Rx \text{ baudrate} = \text{usart } t_{ck} / USARTDIV, \quad (7)$$

де $Tx/Rx \text{ baudrate}$ – бажана частота обміну даними, $\text{usart } t_{ck}$ – частота тактування блоку *USART*, *USARTDIV* – число в регістрі *USART_BRR*.

Для запобігання пошкодження даних під впливом завад, додамо в кінець повідомлення контрольну суму, закодовану алгоритмом циклічного надлишкового коду (Cyclic redundancy check, CRC). В алгоритмі кожній послідовності бітів корисної інформації взаємно однозначно зіставляється породжуючий поліном, послідовність коефіцієнтів якого являє собою початкову послідовність.

Схему живлення мікроконтролера складено з урахуванням рекомендацій виробника мікросхем. Передбачено живлення від напруги 5 В, яка є стандартною для живлення від USB-інтерфейсу, з подальшою стабілізацією мікросхемою LM1117 на рівні 3.3 В.

Для підтримання стабільної тактової частоти контролера, передбачено підключення зовнішнього кварцового генератора. Кварцовий генератор менш схильний до впливу навколишнього середовища на стабільність тактових імпульсів.

Для відлагодження блоку керування, плата містить порт Serial Wire Debug (SWD) для підключення програматора, 2 входи АЦП, виводи 8 каналів ШІМ, кнопку скидання мікроконтролера, 2 світлодіодних індикатора. Зовнішній вигляд друкованої плати представлено на рис. 4.

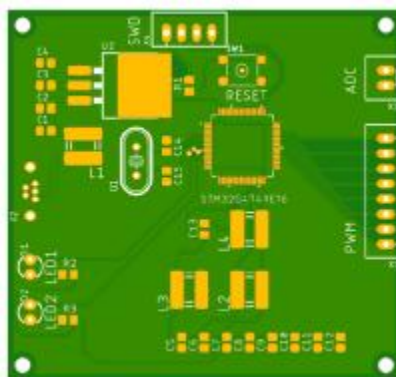


Рис. 4. Зовнішній вигляд печатної плати

Більшість посадкових місць передбачено для компонентів з корпусами для поверхневого монтажу. Такий спосіб монтажу застосовується для зменшення габаритів компонентів і плат, а також дозволяє зменшити кількість зайнятих шарів. Резистори і конденсатори

обрано в корпусі 0805. Компоненти в цьому корпусі мають компактний розмір, залишаються зручними для ручного монтажу і є поширеними, що спрощує їх заміну.

Габарити всієї плати вказано в табл. 1:

Таблиця 1

Габарити друкованої плати блоку керування

Ширина	66 мм
Висота	62 мм
Товщина	1.57 мм

Висновки. Дослідження галузі вторинних джерел живлення показало, що імпульсні технології перетворення електроенергії є дуже поширеними. До сучасних пристроїв, незалежно від їх різновидів, є актуальними наступні вимоги: стабільність напруги і струму, які видає пристрій; надійні системи захисту; можливість автоматичного керування пристроєм; високий ККД; зменшення масогабаритних параметрів. В роботі представлено розробку блоку керування імпульсними джерелами живлення на основі обраного спеціалізованого мікроконтролера. Розроблений блок цифрового керування імпульсним джерелом живлення складається з мінімальної кількості компонентів і є універсальною основою для керування різноманітними імпульсними джерелами живлення. Наявність декількох каналів сигналів керування дозволяє використовувати блок керування у джерелах живлення зі складними топологіями для високопотужних джерел живлення. Програма мікроконтролера ефективно застосовує обчислювальні ресурси апаратного забезпечення.

Список літератури:

1. *Hallworth M.A.* Microcontroller-Based Peak Current Mode Control Using Digital Slope Compensation / M.A. Hallworth, S.A. Shirsavar // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2012. – № 27. – pp. 3340-3351.
2. *Rigogiannis N.* Microcontroller Based Implementation of Peak Current Control Method in a Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converter / N. Rigogiannis, D. Voglitsis, N. Papanikolaou // 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA). – 2018. – pp. 1-4.
3. *Adejumo O.* Development of a Microcontroller Based DC Motor Speed Control System / O. Adejumo, W. Azeez // World Journal of Engineering and Technology. – 2019. – № 7. – pp. 634-639.
4. *Russel Md.K.* Microcontroller Based DC Motor Speed Control Using PWM Technique / Md.K. Russel, M.H. Bhuyan // Proceedings of the International Conference on Electrical, Computer and Telecommunications Engineering RUET. – Rajshahi, Bangladesh, 2012. – pp. 519-522.

5. Ghassoul M. Design of Three-Term Controller Using a PIC18F452 Microcontroller / M. Ghassoul // Chapters, in: Tolga Taner & Archana Tiwari & Taha Selim Ustun (ed.), *Renewable Energy - Technologies and Applications*, IntechOpen. – 2021.
6. Introduction: PID Controller Design. University of Michigan, available at: <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlPID>
7. Rossi M. Introduction to Microcontroller Programming for Power Electronics Control Applications: Coding with MATLAB® and Simulink® / M. Rossi, N. Toscani, M. Mauri, F.C. Dezza. – 1st ed. CRC Press. – 2021. – 452 p.
8. Barsanti R. Teaching PID Controller Design Using Matlab / R. Barsanti // ASEE Southeast Section Conference. – 2022.
9. Julius O. Introduction to Digital Filters: with Audio Applications / O. Julius, III. Smith // W3K Publishing. – 2007. – 480 p.
10. RM0440. STM32G4 Series advanced Arm®-based 32-bit MCUs – Reference manual, available at: www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0440-stm32g4-series-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf

References:

1. Hallworth, M.A., & Shirsavar, S.A. (2012), "Microcontroller-Based Peak Current Mode Control Using Digital Slope Compensation". *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27, pp. 3340-3351.
2. Rigogiannis, N., Voglitsis D. and Papanikolaou N. (2018), "Microcontroller Based Implementation of Peak Current Control Method in a Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converter." *20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, pp. 1-4.
3. Adejumo, O. and Azeez, W. (2019), "Development of a Microcontroller Based DC Motor Speed Control System". *World Journal of Engineering and Technology*, 7, pp. 634-639.
4. Russel, Md.K. and Bhuyan, M.H. (2012), "Microcontroller Based DC Motor Speed Control Using PWM Technique". *Proceedings of the International Conference on Electrical, Computer and Telecommunications Engineering RUET*, Rajshahi, Bangladesh, pp. 519-522.
5. Ghassoul, M. (2021), "Design of Three-Term Controller Using a PIC18F452 Microcontroller." *Chapters, in: Tolga Taner & Archana Tiwari & Taha Selim Ustun (ed.), Renewable Energy - Technologies and Applications, IntechOpen*.
6. Introduction: PID Controller Design. University of Michigan, available at: <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlPID>
7. Rossi, M., Toscani, N., Mauri, M., & Dezza, F.C. (2021), "Introduction to Microcontroller Programming for Power Electronics Control Applications: Coding with MATLAB® and Simulink® (1st ed.)". *CRC Press*, 452 p.
8. Barsanti, R. (2022), "Teaching PID Controller Design Using Matlab". *ASEE Southeast Section Conference*.
9. Julius O. Smith III. (2007), "Introduction to Digital Filters: with Audio Applications". *W3K Publishing*, 480 p.
10. RM0440. STM32G4 Series advanced Arm®-based 32-bit MCUs - Reference manual, available at: www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0440-stm32g4-series-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf

Надійшла (received) 13.11.2022

Статтю представила д-р техн. наук, проф., School of Engineering, Computing and Mathematics Oxford Brookes University and Ternopil Ivan Puluji National Technical University Скарга-Бандурова І.С.

Derkach Maryna, PhD

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

56 Ruska street, Ternopil, Ukraine, 46001

Tel.: (064) 522-89-97, e-mail: derkach@snu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-8977-2776

Eremenko Andriy, student

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400

Tel.: (064) 522-89-97, e-mail: andrey.eriomenko@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-7734-933X

УДК 004.9:681.5

Цифровий блок керування імпульсними джерелами живлення на основі мікроконтролера STM32G474RET6 / Деркач М.В., Єрьоменко А.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2022. – №.1 – 2 (7 – 8). – С. 65 – 77.

Стаття присвячена питанню розробки цифрового блоку керування на основі спеціалізованого мікроконтролера STM32G474RET6, що дозволить удосконалити програмний алгоритм керування імпульсним джерелом живлення. Розроблений блок складається з мінімальної кількості компонентів і є універсальною основою для керування у високопотужних джерелах живлення зі складними топологіями. Програма мікроконтролера ефективно використовує обчислювальні ресурси новітнього апаратного забезпечення. Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: блок, джерело; імпульс; мікроконтролер; керування.

UDC 004.9:681.5

Digital control unit for switching power supplies based on STM32G474RET6 microcontroller / Derkach M.V., Eremenko A.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2022. – № 1 – 2 (7 – 8). – P. 65 – 77.

The article is devoted to the development of a digital control unit based on a specialized STM32G474RET6 microcontroller, which will improve the software algorithm for controlling a switching power supply. The developed block consists of a minimum number of components and is a universal basis for controlling high-power power supplies with complex topologies. The microcontroller program makes efficient use of the computational resources of the new hardware. Figs.: 4. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: block; source; impulse; microcontroller; control.