International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ПРОЕКТИРАНЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЯВАН РЪЧЕН ЧАСОВНИК С ГАЗОРАЗРЯДНИ ЛАМПИ

Деян Георгиев[1]

[1] *Технически университет - Габрово, ул. Хаджи Димитър 4, Габрово, България*
**кореспондиращ автор: deyangeorgiev92@gmail.com*

DESIGN OF A MICROPROCESSOR-CONTROLLED WATCH WITH NIXIE TUBES

Deyan Georgiev[1]

[1] *Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria*
**Corresponding author: deyangeorgiev92@gmail.com*

Abstract
The paper presents the design and experimental verification of a compact microprocessor-controlled wristwatch using Z5900M Nixie tubes for time indication. The system combines a PIC18F27Q84 microcontroller, an RX8130CE real-time clock, a battery management circuit, an I2C port expander, and a low-power MEMS accelerometer. A cascaded boost converter generates the high anode voltage required by the tubes, while dynamic indication and controlled activation reduce energy consumption. The hardware and software architecture were developed with an emphasis on miniaturization, autonomous operation, and safe Li-Po battery charging. Experimental measurements of the converter at different switching frequencies show stable operation at approximately 152.8 V and identify 60 kHz as a practical operating point for the selected component values. The rototype demonstaretes that vintage gas-discharge indication can be integrated with modern embedded control in a compact wearable device. The proposed architecture provides a basis for further development, including gesture control, waterproof housing, and additional communication functions.

Keywords: Nixie tubes; microcontroller; boost converter; wristwatch; embedded system.

ВЪВЕДЕНИЕ

С развитието на електрониката и микропроцесорните технологии се наблюдава възраждане на интереса към ретро елементите, които съчетават естетика, носталгия и функционалност. Един от най-емблематичните примери в тази насока са газоразрядните лампи тип Nixie, използвани за цифрова индикация още от средата на XX век. Въпреки че съвременните LED и LCD технологии предлагат по-ниска консумация и по-висока степен на интеграция, Nixie лампите остават предпочитан избор в проекти, при който стилът и визуалното въздействие играят съществена роля. Настоящата статия е посветена на проектирането на компактен ръчен часовник с две Nixie лампи, управляван от микропроцесорна система, който съчетава винтидж визията на индикацията с прецизността на съвременната електроника. Целта на проекта е да се създаване функционално и енергийно ефективно устройство с автономно захранване, часовник в реално време, сензорно управление и компактен хардуерен дизайн.

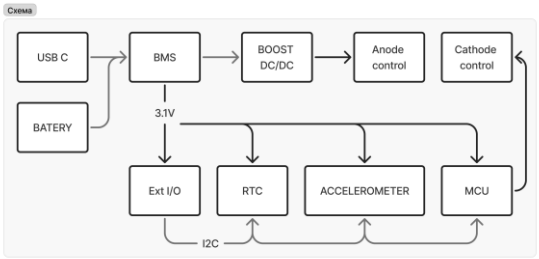
ИЗЛОЖЕНИЕ

АПАРАТНА СТРУКТУРА

Блоковата схема на часовника е пока-

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

зана на фиг. 1.



***Фиг. 1**. Блокова схема на часовника*

Централен елемент в системата е 8-битовият микроконтролер PIC18F27Q84 на Microchip. Той управлява високоволтовия преобразувател чрез PWM сигнал, обслужва динамичната индикация, приема сигнали от външни прекъсвания и комуникира с периферните устройства по I2C. Изборът му е обусловен от достатъчния брой периферни модули, ниска консумация и възможност за работа в компактно изделие.

Точното време се поддържа от RTC модул RX8130CE с вграден (MEMS) кварцов резонатор 32.768 kHz. Ниската му консумация и I2C интерфейсът позволяват функцията за отчитане не време да бъде отделена от основната логика. Недостатъчният брой входно-изходни изводи е компенсиран чрез PCA9536TK, който управлява второстепенни функции като разрешаване на захранването към преобразувателя и отчитане на статусите от BMS.

За автономно захранване е използвана Li-Po батерия 403535 с капацитет 450 mAh. Управлението и защитата на клетката се осъществяват чрез BMS STN01, който осигурява защита от презареждане, долбок разряд и претоварване, както и стабилизирано нисковолтово захранване за цифровите блокове. Активирането чрез движение е предвидено да се осъществява с ултранискомощен MEMS акселерометър LIS2DUXS12.

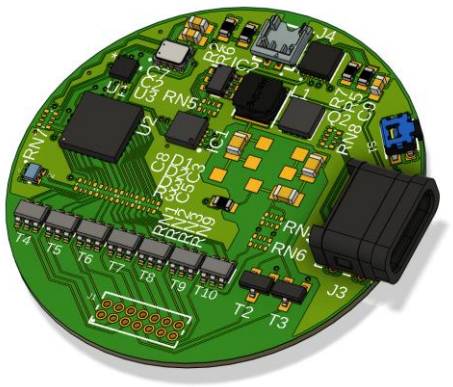
Газоразрядните лампи Z5900M изискват анодно напрежение приблизително 140 - 170 V и работен ток 1 - 3 mA. Поради това в проекта е реализиран повишаващ DC/DC преобразувател с индуктивна степен и умножителна каскада. Управлението на анодите е реализирано с дискретни високоволтови транзистори, а катодите се превключват така, че във всеки момент да е активна само една цифра.

Динамичната индикация има двойна роля. От една страна, тя намалява броя на едновременно активните елементи и ограничава средната консумация. От друга страна, позволява двуцифрено показване с общо управление на катодите, което е важно при ограничен брой изводи на микроконтролера. Необходима е достатъчно висока честота на превключване, за да не се забелязва премигване от потребителя.

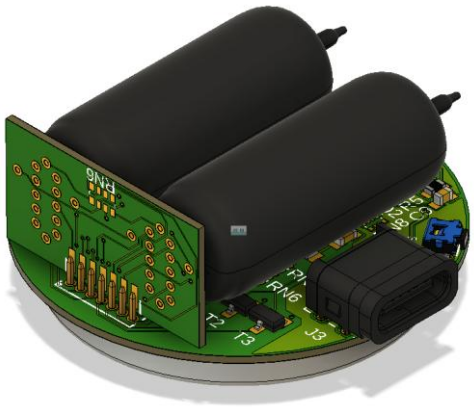
Печатната конструкция е разделена на две платки. Основната платка съдържа микроконтролера, захранващите и комуникационните блокове, а втората носи лампите. Това решение улеснява запояването на Z5900M и позволява компактно разполагане на елементите. На фиг. 2 и 3 са показани съответно моделът на основната платка и моделът на сглобеното изделие.

ВИСОКОВОЛТОВ ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

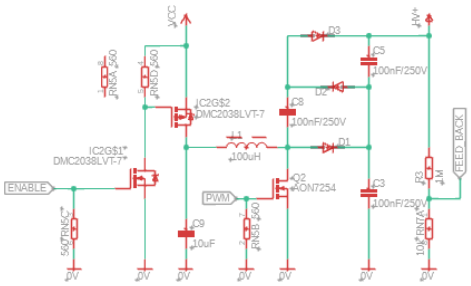
Високоволтовият преобразувател е критичен блок в разработката, тъй като трябва да генерира напрежение, необходимо за запалване и поддържане



***Фиг. 2.** 3D модел на основната платка*



***Фиг. 3**. 3D модел на сглобеното изделие*



***Фиг. 4**. Схема на повишаващ преобразувател с каскада*

на газоразрядните лампи от ниско батерийно напрежение. Използването на индуктивен повишаващ преобразувател, последвана от умножителна каскада, намалява изискванията към пиковото напрежение върху отделните елементи и позволява по-компактна реализация (фиг. 4). Управлението се осъществява чрез PWM сигнал от микроконтролера. Обратната връзка е реализирана чрез делител на напрежение и компаратор в микроконтролера, като референтното ниво се задава чрез DAC и FVR. Така управлението се прекъсва на хардуерно ниво при достигане на зададеното напрежение, не зависи от времето за изпълнение на основната програма. В схемата на преобразувателя е добавен транзистор, който прекъсва захранването му с цел пестене на енергия.

ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ

Програмното осигуряване е разработено в MPLAB X с компилатор XC8 и конфигурирано чрез MPLAB Code Configurator. Използвани са хардуерни модули ADC, CLC, компаратор, DAC, FVR, I2C, PWM и таймери. PWM модулът е настроен за управление на преобразувателя, а компараторът и DAC осигуряват хардуерна обратна връзка за ограничаване на високото напрежение.

Алгоритъмът е разделен на основна инициализация, бързо обслужване на динамичната индикация през таймер с период 1 ms, по-бавна логика чрез таймер с период 10 ms и външни прекъсвания за събуждане чрез бутон или акселерометър. При активиране системата включва неоходимите захранващи блокове, прочита времето от RTC, стартира високоволтовия преобразувател и показва часовете и минутите с кратки преходни ефекти между цифрите.

Приоритетите на прекъсванията са подредени според влиянието им върху видимата работа на часовника. Таймерът за динамична индикация и I2C комуникацията са с висок приоритет, тъй като забавянето им може да доведе до нестабилна визуализация или неправилно прочитане на данни от периферните устройства. Външните прекъсвания и по-бавните проверки се изпълняват с по-нисък приоритет.

Събуждането на системата има съществено значение за енергийната ефективност. В неактивно състояние се изключват модулите, които не са необходими постоянно. При събитие от бутона или акселерометъра се стартира последователност за захранване, прочитане на времето и включване на индикацията.

Този режим е особено подходящ за Nixie часовник, тъй като лампите не е необходимо да светят непрекъснато.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Енергийната ефективност на високоволтовия преобразувател е изследвана с VDD = 3.42 V, Vout ≈ 152.8 V и коефициент на запълване 95 %. Използвана е индуктивност 100 μH в корпус 4018. Измерванията показват, че с увеличаване на честотата входният ток намалява, но след 75 kHz изходното напрежение започва да спада. Практическият компромис е честота 60 kHz, при която преобразувателят поддържа стабилно изходно напрежение без изразен спад.

От табл. 1 се вижда, че при честоти от 32 до 70 kHz изходното напрежение остава 152.8 V, докато входният ток намалява от 220 mA до 160 mA.

Табл. 1. *Измерени параметри на високоволтовия преобразувател*

f, kHz	Uout, V	Iin, mA
32	152.8	220
40	152.8	188
50	152.8	170
60	152.8	168
70	152.8	160
75	151.7	153
80	149.3	140
90	144.7	120
100	140.8	105

При по-високи честоти консумацията продължава да намалява, но напрежението спада под целевата стойност. Това показва, че минималният входен ток не е единственият критерий при избор на честота. Необходимо е да се отчита и способността на преобразувателя да поддържа стабилно анодно напрежение за лампите. Изборът на 60 kHz е практически обоснован, тъй като съчетава стабилно напрежение и умерен ток при използваната индуктивност. При тази настройка преобразувателят осигурява достатъчен запас за запалване на лампите, а хардуерната обратна връзка ограничава напрежението след достигане на зададеното ниво. Това е важно както за безопасността на елементите, така и за удължаване на живота на газоразрядните индикатори.



Фиг. 5*. Осцилограма на повишаващия преобразовател преди каскадата.*

На осцилограмата, на фиг. 5, се вижда как напрежението се повишава и как контролерът прекъсва PWM сигнала, за да не бъде превишена зададената стойност. След изкачване от 4 ms лампите се запалват и прекъсванията на PWM стават значително по-редки.

Кондезаторите в каскадата стабилизират достатъчно изходното напрежение, поради което не са необходими допълнителни филтри (фиг. 6).

На фиг. 7 е показано реализираното устройство.



Фиг. 6*. Осцилограма след каскадата.*



Фиг. 7*. Реализация на устройството*

По време на пускането са установени и особености на схемата, които е полезно да бъдат отчетени на следваща резвизия. Бутонът не е оптимално свързан през PCA9536, тъй като така не може директно да генерира прекъсване към микроконтролера и трябва да се проверява чрез I2C. Установена е и необходимост от корекция на индикацията, свързана със статуса на BMS.

ОБСЪЖДАНЕ

Получените резултати показват, че Nixie индикация може да се използва в носимо устройство, когато високоволтовата част се активира само при необходимост, а индикацията се управлява динамично. Избраният подход използва хардуерните ресурси на микроконтролера за ограничаване на напрежението, което намалява софтуерното натоварване и подобрява предвидимостта на управлението.

Ограниченията на прототипа са свързани основно с първата ревизия на платката и със сервизния режим. Установено е, че бутонът не е оптимално свързан през I2C разширителя, тъй като не може директно да генерира прекъсване към микроконтролера. Необходима е и допълнителна настройка на акселерометъра за надеждно разпознаване на движението на китката.

Практическата стойност на разработката се състои в демострирането, че високоволтова индикация може да се използва в малогабаритна носима система, ако високото напрежение се разглежда като ресурс активиран за кратко. Това позволява съчетаване на ретро визуален ефект със съвременен подход към управлението на енергията. Подходът може да се приложи и в други малки устройства с импулсно активирана индикация или сензорно управление.

В сравнение с типичен електронен часовник с LED или LCD индикация,



Фиг. 8*. Изделие в работен режим*

разглежданото устройство е по-сложно по отношение на захранването и безопасността, но предлага различна потребителска стойност. Целта му не е постигане на минимална цена или максимална автономност, а демонстриране на инженерна интеграция между историческа индикаторна технология и съвременна микропроцесорна система.

ОГРАНИЧЕНИЯ И БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ

Основните ограничения на текущия прототип са свързани с първата хардуерна ревизия, настройката на акселерометъра и непълната реализация на сервизния режим. Тези ограничения не обезсилват работоспособността на архитектурата, но очертават областите, които изискват допълнително инжинерно уточняване преди създаването на завър-

шено изделие.

Бъдещото развитие включва водоустойчив корпус, оптимизиран алгоритъм за настройка на часовника, по-надеждно разпознаване на движението на китката, софтуерни ефекти при смяна на цифрите, както и възможност за безжично зареждане или Bluetooth свързаност. Особено важно е да се разработи нова ревизия на входните сигнали, така че критичните потребителски действия да могат да събуждат контролера чрез прекъсване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е работещ прототип на ръчен часовник с микропроцесорно управление и газоразрядни лампи. Проектът показва, че ретро индикаторна технология може да бъде интегрирана със съвременни вградени системи, когато архитектурата е съобразена с ограниченията на захранването, габаритите и високото напрежение.

Научно-приложният принос на разработката се състои в системното съчетаване на високоволтова Nixie индикация, нисковолтова Li-Po захранваща система, RTC модул, сензорно събуждане и динамично управление в компактна носима конструкция. Бъдещото развитие следва да се насочи към водоустойчив корпус, оптимизация на сервизния режим, надеждна настройка на акселерометъра, ефекти при смяна на цифрите и добавяне на безжично зареждане или Bluetooth свързаност.

ЛИТЕРАТУРА

[1] DC/DC Book of Knowledge Practical tips for the User Steve Roberts, M.Sc. B.Sc. Technical Director, RECOM 2016 All rights RECOM Engineering GmbH & Co KG, Austria (hereafter RECOM)

[2] Rankovska, V., S. Rankovski. Microprocessor Development System Applying a Multifunctional Demonstration Board. ICEST 2019 Conference Proceedings, Ohrid, North Macedonia. 2019. pp. 414-417. ISSN: 2603-3259 (Print) ISSN: 2603-3267 (Online)

[3] Microchip Technology Inc. – PIC18F27/47/57Q84, DS40002213F - 1, Data Sheet 2020-2023, Microchip Technology Inc. and its subsidiaries

[4] Epson Toyocom – RX8130CE Real Time Clock Module Specifications

[5] STMicroelectronics – LIS2DUXS12 Ultra-low power accelerometer, Rev. 2, 2023

[6] STMicroelectronics – STN01 BMS with LDO and protection for single-cell Li-Ion/Li-Po, 2023.