

Безжична система за управление на фойерверки

Йовко Раканов*, Огнян Кунев**, Светлозар Недев**

ХимикоТехнологичен и Металургичен Университет София, *катедра Електротехника и Електроника, **катедра Физика, София 1756, България, бул. „Кл. Охридски“ 8, e-mail: yovko_rakanov@abv.bg

Резюме. Създадена е напълно компютъризирана система за пиротехническо шоу. Тя се състои от изстрелващи модули, които се управляват от компютър с помощта на интерфейсен модул. Всеки изстрелващ модул може да произведе 32 изстрела, със зададено време за всяка запалка. Модулите комуникират с интерфейсия модул чрез радиотрансийвъри. Интерфейсият модул е свързан по USB с компютър, от който програма контролира процеса на подготовка: тест на всяка запалка във всеки модул, зареждане на времето за всеки изстрел, старт на изстрелването на фойерверките и синхронизирано музикално изпълнение по време на шоуто.

Wireless firework system (Yovko Rakanov, Ognyan Kunev, Svetlozar Nedev). A fully computerized system for fireworks show is created. It consists of many firing modules which are governed by a computer through an interface module. Every firing module can produce 32 shots at given time each. The modules communicate with the interface module using wireless radio transceivers. The interface module is connected to a computer through USB and a computer program controls the process of the show preparation: test of each shot in each module, the loading of the time for each shot, the start of the firework firing and the synchronous music playing during the show.

Увод

От векове фойерверките са неизменна част от различни празненства. Измислени в Китай и пренесени в Европа от Марко Поло, те създават у хората незабравими емоции и прекрасни пъстроцветни картини в нощното небе. Традиционно се запалват от фитил с кибрит или запалка, но в последно време се наблюдава нова тенденция. Все повече навлиза компютърното управление на фойерверките посредством електрическа запалка (детонатор). Това дава предимства, каквито традиционното запалване няма, като например пускането на повече фойерверки едновременно, както и възпламеняването им в точно определен момент. Това позволява да се реализират пиротехнически шоу спектакли с неограничени възможности. Създаде се и ново течение в спектаклите с фойерверки - така наречените пиромюзикъли, които представляват фойерверки изстрелвани в синхрон с музикален съпровод. Тези пиромюзикъли претъряха бързо развитие и вече са

неразделен елемент от новогодишните програми на столиците по света, както и на концертите на музикалните изпълнители. Заедно с развитието на тази мода, бурно развитие претърпяха и системите, с които може да се реализира такова сложно шоу. Проектирането му се извършва с компютърни програми ([1-2]), а изпълнението се управлява от електронни модули. Различни фирми предлагат изстрелващи модули и аксесоари към тях [3] и цели системи управлявани от компютър [4] или от ръчен контролер [3], като връзката между модулите е жична или безжична.

Системата за изстрелване на фойерверки разработена от нас, използва готова таблица с времена за изстрелване, получена от някоя симулираща пиротехническо шоу програма, и извършва изстрелването под управление на компютърна програма, с радио връзка с изстрелващите модули.

Описание

Системата (фиг.1) се състои от компютър с инсталирана програма за управление (фиг. 2),

свързан по USB с интерфейсен модул, който комуникира чрез един радио приемо-предавател (трансийвър) с модулите, към които се присъединяват запалките за фойерверките. Към всеки такъв изстрелващ модул могат да се включат 32 запалки. От компютъра се задава времето за активиране на всеки един детонатор, а също може да се направи тест, за да се провери състоянието на всяка запалка.



Фиг.1. Система за управление на фойерверки: компютър, интерфейсен модул, изстрелващи модули.

Красотата на пиротехническия шоу спектакъл се постига чрез активиране на запалките в точно определени моменти. Системата позволява тези времена да бъдат въведени ръчно в таблица или да се заредят от готов текст или Екселовски файл. Фойерверките обикновено се изпълняват под определена мелодия, с която са синхронизирани - това се прави с програми за симулиране на фойерверки (например FWsim [1] или online Firework Simulator [2]), като краен продукт е файл с времената за активиране на всяка запалка. Такъв файл е входен за нашата система, времената се зареждат в модулите и след като са направени всички проверки, и е зареден и файл във формат mp3 с мелодията за изпълнение, може да бъде стартирана зарята. От тук нататък изстрелването се извършва автоматично от изстрелващите модули, като от компютъра може единствено да се подаде обща команда за спиране.

Модули

Използват се един интерфейсен и до 255 изстрелващи модули. За интерфейсен модул се използва Arduino nano с включен към него трансийвър от вида [5] или [6] работещи на основна честота от 2,4 GHz, или [7] или [8] на 433 MHz. Те са монтирани в малка кутийка (фиг.1), която се свързва към USB вход на компютъра. В

модула е записана програма, която приема командите и данните от управляващата програма инсталирана на компютъра. По нататък тези данни чрез трансийвъра се предават към избран изстрелващ модул.

Изстрелващият модул представлява кутия върху която са монтирани 32 съединителя за включване на кабелите на запалките, ключета за включване на захранването, работа в ръчен режим и за разрешение на изстрелите, извод за захранване и зареждане на акумулатора, намиращ се заедно с платка вътре в кутията. Управлението се извършва от микроконтролер ATmega169P от записана в него програма. Връзката с интерфейсия модул се осъществява от същия тип радио-трансийвър. Получените от него времена се записват в RAM паметта на микроконтролера, от където могат да бъдат прочетени по команда от интерфейсия модул. Съпротивленията на запалките се измерват през АЦП на микроконтролера – получената стойност е индикация дали има включена запалка и се предават към компютъра. Други 2 АЦП-та се използват за измерване на напрежението на акумулатора и на външното захранване. Таймерите на микроконтролера служат за измерване на времето за всеки изстрел. Трансийвърът, независимо от кой от вид [5-8] се управлява по SPI интерфейс.

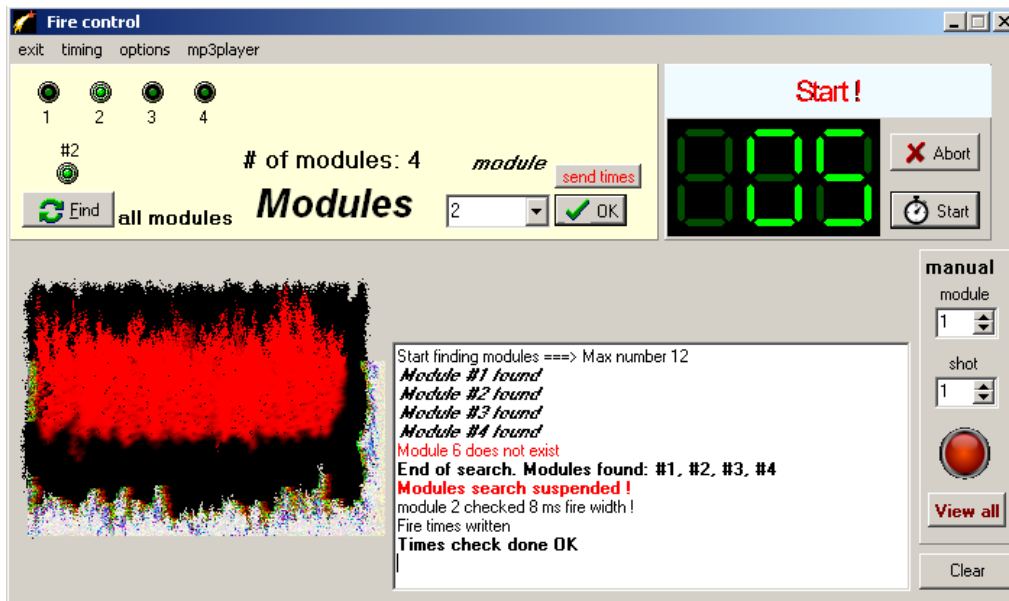
Описание на програмите

Управлението на системата се осъществява от 3 програми:

- главна, разположена в компютър с операционна система Windows;
- интерфейсна, разположена в интерфейсия модул;
- изпълнителска, разположена във всеки изстрелващ модул.

Главната програма (фиг. 2) управлява цялата система и не изсква инсталация. Тя е написана на DELPHI object Pascal и има следните възможности:

- **Find** – проверява какви изстрелващи модули съществуват.
- **Options** – отваря се прозорец, от който се задават различни настройки: избор на порт за връзка с интерфейсия модул и инициализацията му, проверка на връзката, задаване на различни времена и др.
- **mp3Player** – прозорец с възможности за изпълнение на mp3 файлове. Възможно е да се направи списък с песни. Може да се



Фиг.2. Основен екран на управляващата програма.

регулира силата на звука, баланса на двата канала и корекции на звука. При изпълнение се визуализира честотния спектър на изпълняваната мелодия. По време на изпълнение може да се променя моментът на изпълнение с плъзгач или точно с избор на по-ранен или по-късен момент с точност до милисекунда. Може да се задава и времето за забавяне на пускането на mp3 плейера спрямо началото на фойерверките.

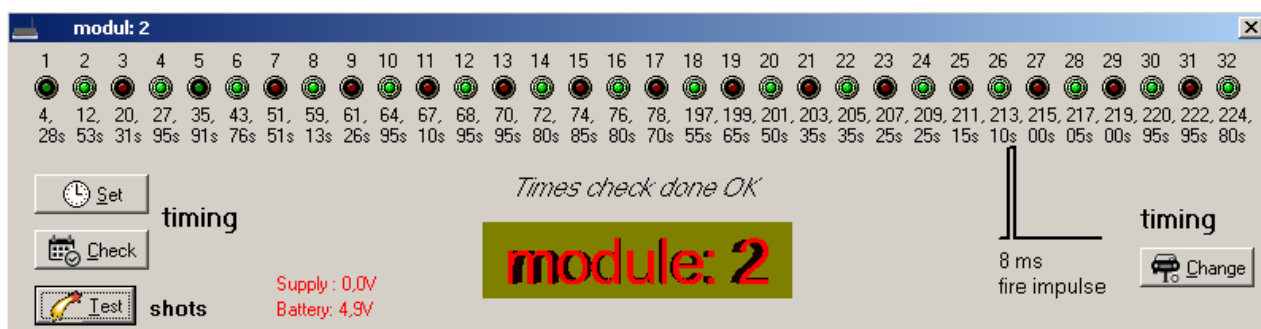
- **Timing** – отваря се таблица (фиг. 3), в която може да се зареди готов файл и да се редактира. Таблицата има 3 колонки: в първата се задава номера на запалката, във втората е времето на запалване, а третата е за бележки. Съдържанието на таблицата може да се запази като файл. При стартиране на програмата автоматично се зарежда последния отварян файл с времена.
- **Избор на модул** – появява се прозорец (фиг. 4) със състоянието на съответния модул. Всяка запалка се изобразява като светодиода в три възможни състояния: **зелено** – запалката е тествана и е в ред, **светло червено** – запалката е тествана и не е в ред, **тъмно червено** – запалката не е тествана. Този прозорец позволява да се запишат и прочетат времената за запалките на модула, широчината на импулса за активиране, резултата от теста на запалките и стойностите на

захранващите напрежения. По подобен начин, чрез светодиоди, се изобразява състоянието на всеки модул на главния екран на програмата.

Clear	#	shot time	notes
1	4.28	Red Comet 3"	
2	12.53	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
3	20.31	Red Tail Comet 3"	
4	27.95	Red Tail Comet 3"	
5	35.91	Red Tail Comet 3"	
6	43.76	Red Thick Tail Sparkle Comet 3"	
7	51.51	Red Tail Comet 3"	
8	59.13	Red Tail Comet 3"	
9	61.26	Red Tail Comet 3"	
10	64.95	Red Tail Comet 3"	
11	67.10	Red Tail Comet 3"	
12	68.95	Red Tail Comet 3"	
13	70.95	Red Tail Comet 3"	
14	72.80	Red Tail Comet 3"	
15	74.85	Red Tail Comet 3"	
16	76.80	Red Tail Comet 3"	
17	78.70	Red Tail Comet 3"	
18	197.55	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
19	199.65	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
20	201.50	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
21	203.35	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
22	205.35	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
23	207.25	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
24	209.25	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
25	211.15	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
26	213.10	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
27	215.00	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
28	217.05	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
29	219.00	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
30	220.95	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
31	222.95	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	
32	224.80	Red Ext Thick Tail Sparkle Comet 3"	

Фиг.3 Таблица за въвеждане на времената за активиране на всяка запалка в изстрелващ модул.

- **Start** – при натискане на бутона започва обратно броене на времето до стартиране на сеанса. Ако се натисне **Abort** той се



Фиг.4 Управление на модул, състоянията на запалките е изобразено със съответните цветове, показани са времената за активиране, захранванията и продължителността на активиращия импулс.

спира. Със започването на сеанса се стартира и mp3 player.

Програмата в интерфейсия модул, също както и в изстрелващите модули, е написана на С. Тя поддържа връзка с компютъра по USB интерфейс, а с изстрелващите модули чрез двупосочни радио-трансийвъри. Интерфейсият модул се свързва с избрания изстрелващ модул и записва или чете времената за всички 32 изстрела, прочита състоянието на запалките, дава команда за общ старт или стоп на сеанса.

Програмата в изстрелващите модули приема чрез своя радио-трансийвър командите на интерфейсия модул. При команда старт се пуска таймер, като при достигане на зададеното време за някой изстрел на изводите му се подава напрежение, а като изтече времето зададено като продължителност на импулса напрежението изчезва, запалката се нагрива и активира детонатора. Задаването на това време позволява използване на различни видове изстрели – за някои от тях е необходим по-дълъг импулс, а други се задействат с напрежение приложено за по-кратко време.

Безжична комуникация

На пазара се предлагат малки и евтини, маломощни приемо-предаватели (трансийвъри), работещи в разрешените MHz и GHz диапазони. Радиокомуникацията се осъществява между интерфейсия и изстрелващите модули на една и съща честота. До сега сме използвали 4 вида трансийвъри: RFM73 [5], RFM22B [6], nRF24L01 [7], RFM98W [8], като последният има най-голям обсег – над 300 метра на открито. Независимо от типа на трансийвъра, протоколът на обмен е един и същ – предават се пакети от байтове, съдържащ и команда и данни. Всеки изстрелващ модул има свой номер, по който разбира дали пакета е предназначен за него. Тъй като синхронизацията е

изключително важна за успеха на пиротехническото шоу, използваме и команди, които са общи за всички изстрелващи модули, което дава възможност за едновременен старт на таймерите им – това е и причината да изберем една и съща честота на комуникация за всички модули.

Заклучение

Създадена е система за управление на фойерверки. До 255 модула, всеки от който може да произведе 32 изстрела се управляват от компютър. Връзката се осъществява безжично, чрез радио-трансийвъри. Всеки детонатор може да се тества индивидуално и да се зададе момента на и активизирането му. Изстрелът се задейства с електрически импулс, чиято продължителност се задава за всеки модул. Синхронизирано с началото на фойерверките компютърът започва да изпълнява зададената мелодия. Използването на радиовръзка между модулите вместо кабели значително опростява и улеснява работата, и намалява вероятността от грешки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.fwsim.com>
- [2] <https://codepen.io/MillerTime/pen/XgpNwb>
- [3] <http://www.monetti.net/en/products.htm>;
<http://www.cobrafiringsystems.com/>
- [4] <https://www.simplifirepyro.com/>
- [5] <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM73-Datasheet-V2.0.pdf>
- [6] https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf
- [7] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22B.pdf>
- [8] http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM95_96_97_98W