

Providing a Circuit for Detecting and Interrupting the operation of LED Driver for Street Lighting in Hiccup Mode

Mohammad Reza Sadeghi¹, Mazdak Ebadi²

¹ M.Sc., Department of Electrical Eng., Faculty of Engineering, Arak university, Arak 38156-8-8349, Iran
sadeghimrs875@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Electrical Eng., Faculty of Engineering, Arak university, Arak 38156-8-8349, Iran
m-ebadi@araku.ac.ir

Abstract:

Hiccup phenomenon in LED driver occurs when some LEDs fail in a string. This causes the current to increase too much and the driver detects an overcurrent fault. As a result, the output is interrupted and restarts after one to two seconds. So the current increases again and this action is repeated until the end of the working day. This driver only hiccups once every two seconds. In addition to causing inconvenience for the people around, this phenomenon increases the possibility of damage to the driver. In this article, a circuit is proposed that detects the phenomenon of hiccup and permanently disables the driver after hiccup a few times. Due to the need to be small and economical, the proposed circuit is designed without a current sensor and a microcontroller. The working principle here is based on detecting the fault of the LED string by the op-amp and transmitting the error signal to the counter, which interrupts the circuit in less than 10 hiccups. The purpose of using the counter is to avoid untimely operation of the system in transient situations such as start-up time or electrical fluctuations. Such a scheme can be easily extended to circuits containing several parallel LED strings.

Keywords: LED street light, Flyback converter, Hiccup Mode, LED driver.

Article Type: Research

Received: 29. 06. 2024

Revised: 12. 12. 2024

Accepted: 03. 02. 2025

Corresponding author: M. Ebadi

Corresponding author's address: Basij Square, Karbala Blvd., Arak University, Arak, Iran



1. Motivation of the work

LED-based street lighting systems are one of the solutions for optimizing power consumption in the power grid and are developing day by day. These lights have much lower power consumption, higher power quality and power factor, and longer useful life than older models. All these indicators are guaranteed with the help of a powerful and complex driver, on which the performance of the light is completely dependent. One of the common problems in LED drivers is the burning of some LEDs in the light, which causes the driver protection to be activated and the light to start blinking. This phenomenon puts pressure on the driver circuit and damages it. This article presents a method for detecting this fault and disabling the driver when this error occurs to prevent damage to the driver. In the proposed circuit, first the occurrence of an overcurrent error and hiccup is detected, and then a counter issues a command to permanently stop the driver after a certain number of hiccup. In this way, the LED light is turned off until the end of the working day and the beginning of the next working day.

2. Contributions

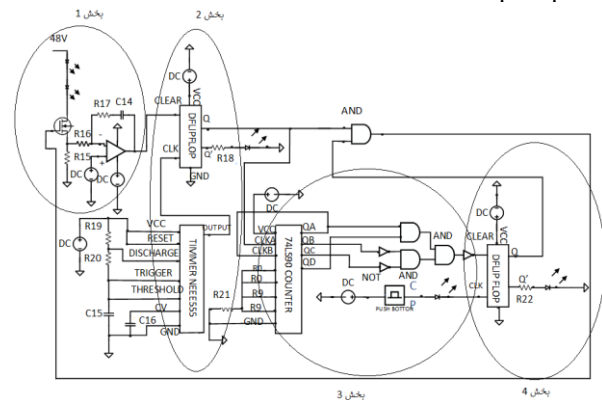
In this paper, an LED driver system is presented that includes a flyback converter as the main converter and can include two or more separate and parallel LED strings. A series MOSFET is used to control the current of the LED strings, and the current feedback is done by a series resistor. Then, an overcurrent detection circuit is included that detects the fault through an op amp with a reference voltage and disconnects the MOSFET. If one or more LEDs in a series string are burned out and become short-circuited, a permanent overcurrent fault is created in the circuit and causes the circuit to be repeatedly disconnected and reconnected and the hiccup phenomenon to occur. To prevent such a problem, an error counter circuit is included that permanently disconnects the MOSFET after a maximum of 9 hiccups. In this design, the current of each LED string is controlled separately. This system for detecting and disconnecting LED street lighting lights in the hiccup state is actually an upgrade of the active linear type method. The results of this design implementation showed that the proposed circuit well detects the occurrence of an error in an LED string and, without interrupting the driver output voltage, permanently disconnects the damaged string after a few hiccups. In this way, the healthy LED string in a lamp can continue to work.

3. Procedures

The proposed system for detecting and disconnecting LED street lights in hiccup mode is shown in Figure 1. This system actively controls the LED currents in each channel independently using a linear regulator. This method can be improved to determine the type of error and also control the current of each LED string independently. The most common error is the burning of

an LED in one of the strings. The system for detecting and disconnecting LED street lights in hiccup mode consists of the following parts:

- Error detection circuit
- Error signal holding module based on a flip-flop chip and a timer-resistor based on a chip (NE555)
- Error counter module
- Permanent disconnect module based on a flip-flop



The error detection circuit consists of a MOSFET and a resistor in series with the LED string and an op-mp. The voltage of the series resistor in the LED string is compared with a reference voltage value by the op amp. As the current of the LED string increases, the resistor voltage value increases. So by comparing the voltage across the resistor with the reference voltage of the op amp, the error signal is detected by the op amp.

4. Findings

When an error occurs, the short circuit of one or more LEDs increases the resistance of the others and, due to the nonlinear voltage-current relationship of the diode, leads to a sudden increase in the string current. The more LEDs burn in a string, the higher the current and, as a result, I_{OUT} (0.5A/div) increases. When the error occurs, the output voltage drops from 8 volts to zero. The output voltage of the first flip-flop. When the first error occurs, the voltage $V_{Q1}(v)$ changes from one to zero. The NE555 IC produces a low-frequency pulse with a pulse width of 50% at the output, the value of which varies between zero and 5 volts and is applied to the clock of the flip-flop IC. The output voltage pulse is the 74LS90 counter. This counter counts up to 9 and its voltage varies between zero and 5. When the state 2 (1001) appears in the output voltage of the counter, it means that 9 times of error counting has been done and with the ninth time the value of $V_{shut\ down}(v)$ becomes zero. This output is applied to a flip-flop and is maintained in the zero state by it, thus preventing the MOSFET in series with the LED string from turning on again. This state remains until the user presses the pulse clock key of the second flip-flop or the power of the entire set is cut off at the end of the working day and the circuit is restarted. In general, this proposed system for detecting and disconnecting the LED street lighting light in the hiccup mode detects the burning of even one LED in the string and turns off after

9 hiccup times, until the user fixes the problem and then starts working again.

5. Conclusion

In this paper, a method for detecting the occurrence of hiccup phenomenon in the LED street light driver was presented. To distinguish between transient states and the blinking phenomenon due to burning of the LED, a counter is built into the proposed circuit to permanently turn off the driver after repeating a certain number of times of turning it off and on. At the end of the working day, when the street lighting system is turned off, the proposed circuit is released from the latch state and resets, and with the start of the next working hour, it starts to hiccup again and after a few hiccup times, it turns off again. This process is repeated every night until the burnt LEDs are repaired, diagnosed, and replaced.

ارائه مداری برای تشخیص و قطع عملکرد درایور LED روشنایی معابر در حالت سکسکه زدن

محمدرضا صادقی^۱، مزدک عبادی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- گروه مهندسی برق- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه اراک - اراک - ایران

sadeghimrs875@gmail.com

۲- استادیار- گروه مهندسی برق- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه اراک- اراک - ایران

m-ebadi@araku.ac.ir

چکیده: پدیده سکسکه زدن در درایور LED، زمانی رخ می‌دهد که برخی LEDها در یک رشته بسوزند. این باعث می‌شود که جریان بیش‌ازاندازه افزایش پیدا کند و درایور تشخیص خطای اضافه جریان دهد. در نتیجه خروجی قطع می‌شود و بعد از طی مدت یک تا دو ثانیه دوباره شروع بکار می‌کند. پس جریان دوباره افزایش پیدا کرده و این عمل تکرار می‌شود و تا پایان روز کاری این درایور هر دو ثانیه یک‌بار فقط یک سکسکه می‌زند. این پدیده علاوه بر اینکه باعث آزار و اذیت اطرافیان می‌شود احتمال آسیب به درایور را افزایش می‌دهد. در این مقاله هدف طراحی مداری است که پدیده سکسکه زدن را تشخیص دهد و بعد از چند بار سکسکه زدن به‌طور دائم درایور قطع کند. با توجه به لزوم کوچک و اقتصادی بودن، مدار طراحی شده بدون سنسور جریان و میکروکنترلر طراحی شده است. اصول کار در اینجا بر مبنای تشخیص خطای رشته LED توسط آپ-امپ و انتقال سیگنال خطا به شمارنده است که در کمتر از ۱۰ بار سکسکه زدن مدار را قطع می‌کند. هدف از استفاده از شمارنده، عدم عملکرد بی‌موقع سیستم در حالات گذرا همچون زمان راه‌اندازی یا نوسانات الکتریکی است. چنین طرحی به‌راحتی به مدارهای شامل چندین رشته LED موازی قابل تعمیم است. در چنین حالتی این سیستم برای یک چراغ LED با درایور مبتنی بر مبدل AC به DC فلای‌بک با خروجی ۳۵ وات ۴۸ ولت اجرا شده است. نتایج آزمایشگاهی به‌خوبی نشان می‌دهد سوختن یک یا دو LED در رشته LED های سری باهم باعث فعال شدن حفاظت شده و چراغ را تا پایان روز کاری خاموش می‌کند.

کلمات کلیدی: چراغ LED روشنایی معابر، پدیده سکسکه زدن، درایور LED

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مزدک عبادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - اراک - میدان بسیج - بلوار کربلا - دانشگاه اراک - دانشکده‌ی فنی و مهندسی

۱- مقدمه

انگیزه زیادی برای کاهش مصرف انرژی در مناطق شهری به منظور کاهش آلودگی‌های مرتبط با محیط‌زیست وجود دارد. LED به عنوان نوع جدیدی از منبع روشنایی سبز، که از تراشه نیمه‌هادی به عنوان ماده درخشان برای تبدیل مستقیم انرژی الکتریکی به انرژی نور استفاده می‌کند، دارای مزایای برجسته بسیاری مانند طول عمر طولانی، راندمان نور بالا و عدم آلودگی و غیره است. جریان LED به طور تصاعدی به ولتاژ آن بستگی دارد. از این رو، نوسانات کوچک در ولتاژ منجر به تغییرات زیادی در جریان می‌شود. بنابراین کنترل جریان برای کنترل نور خروجی از LED ها مورد نیاز است. این را می‌توان با استفاده از مبدل‌های الکترونیکی قدرت برای هدایت LED ها انجام داد [۱]. روش‌های زیادی برای متعادل کردن جریان رشته LED وجود دارد. این روش‌ها را می‌توان به دودسته تقسیم کرد: فعال و غیرفعال. روش‌های فعال شامل یک تنظیم‌کننده خطی و مبدل‌های حالت سوئیچ جدا شده می‌باشد. تنظیم‌کننده جریان خطی کنترل ساده و کم‌هزینه‌ای دارد، ولی از اتلاف توان در اثر قطع و وصل کردن ماسفت و راندمان ضعیف رنج می‌برد. تنظیم‌کننده جریان سوئیچ (مبدل‌های حالت سوئیچ جدا شده). در مقایسه با رگولاتور نوع خطی راندمان بالاتری دارد اما از تعداد قطعات زیاد و هزینه بالا رنج می‌برد [۲]. در روش‌های متعادل‌کننده غیرفعال جریان رشته LED توسط اجزای غیرفعال مانند سلف‌ها یا ترانسفورماتورهای اشتراک‌گذاری جریان (CST) و خازن‌ها متعادل می‌شوند. با این حال، CST حجیم است و طراحی آن پیچیده است و از عدم تعادل جریان و راندمان ضعیفی رنج می‌برد. تکنیک‌های متعادل‌سازی جریان غیرفعال که مبتنی بر تعادل امپدانس خازن‌ها هستند، از مزایای چگالی توان بالا و مقرون به صرفه بودن برخوردار هستند. با این حال، تعداد زیادی سوئیچ قدرت و سیم‌پیچ ترانسفورماتور نیاز دارند که این درایورهای LED را پیچیده می‌کند [۲-۳]. درایورهای LED معمولاً با مبدل‌های DC-DC حالت منبع ولتاژ (VSM) معمولی ساخته می‌شود. مبدل‌های حالت منبع جریان (CSM) اگرچه برای راه‌اندازی جریان بسیار مناسب هستند، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در واقع از روش تنظیم‌کننده جریان سوئیچ (مبدل‌های حالت سوئیچ جدا شده) استفاده شده است [۴-۷]. ساختار خازنی متعادل‌کننده جریان با مبدل شبه بوسست ترکیب می‌شود تا کنترل جریان جدا شده و تعادل جریان در هر ماژول را تحقق بخشد. در واقع از روش فعال و غیرفعال با هم استفاده کرده است از معایب طرح حجم زیاد و تعداد تجهیزات و خازن زیاد به کار برده شده است [۸]. معمولاً از کنترل ثابت به موقع و تنظیم سمت اولیه می‌توان به راحتی برای کنترل درایور LED استفاده کرد. تنظیم سمت اولیه دارای اشکالاتی است. به عنوان مثال، نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی منعکس شده در سیم‌پیچ کمکی تنها یک بار در هر سیکل PWM انجام می‌شود. [۹]. این مقالات [۱۰-۱۲] یک نمای کلی جامع از طراحی‌های پیشرفته درایور LED،

از جمله کنترل و تنظیم جریان ثابت به روش فعال تنظیم‌کننده جریان سوئیچ ارائه می‌کنند. در برخی مبدل‌ها این بخش تصحیح ضریب توان با بخش مبدل DC-DC جمع می‌شود و گاهی برای مبدل درایور LED که توان کم دارند، از مبدل فلای‌بک بکار می‌رود که در حالت جریان ناپیوسته یا (DCM) نیاز به بخش تصحیح ضریب توان نیست. در مبدل استفاده شده در مقاله [۱۳] به جای استفاده از مبدل‌های حالت سوئیچ جدا شده از یک تنظیم‌کننده خطی برای رشته LED استفاده شده است. این مقالات [۱۴-۱۶] مجموعاً به تکامل فناوری درایور LED کمک می‌کنند و بر بهبود ضریب توان، تعادل جریان غیرفعال و عملکرد کلی در سیستم‌های روشنایی LED تمرکز می‌کنند. درایورهای LED تنها از یک سوئیچ فعال استفاده می‌کنند که حجم مدار را کاهش داده و حلقه کنترل را ساده می‌کند این مقالات [۱۸-۱۷] از مرحله ورودی شامل مبدل تصحیح ضریب توان (PFC) تشکیل شده است، که توسط آن مرحله DC/DC دنبال می‌شود و ایزولاسیون الکتریکی و ولتاژ باس برای درایورهای LED را فراهم می‌کند، درایور LED تک سوئیچ با ضریب توان بالا و متعادل‌کننده جریان غیرفعال پیشنهاد و تحلیل شده است. در این مقاله [۱۹]، یک روش کنترل جریان پیک جانبی اولیه که برای راه‌اندازی درایور LED استفاده می‌شود، پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی اثر ریل ولتاژ باس DC بزرگ را با تغییر فرکانس سوئیچینگ سوئیچ‌های جانبی اولیه جبران می‌کند. روش جدید تنظیم نور انتخابی کانال خروجی یک درایور LED چند کاناله در این مقاله [۲۰] پیشنهاد شده است. با کنترل نسبت وظیفه کلیدهای جانبی ثانویه که به طور استراتژیک در یکسو کننده‌های مبتنی بر ضریب ولتاژ خروجی قرار می‌گیرند، میانگین جریان LED و در نتیجه روشنایی کانال‌های جداگانه کنترل می‌شود. هدف ارائه یک طرح حفاظتی یکپارچه برای مبدل‌های یک سیستم فتوولتائیک کم‌مصرف و کم‌هزینه است. مبدل‌های الکترونیکی قدرت از روش‌های مختلفی برای محدود کردن اضافه بار و جریان خطا استفاده می‌کنند. یک مدار ساده، ایزوله و قابل اعتماد برای تشخیص عیب در نقاط مختلف سیستم پیشنهاد شده است که می‌تواند در حالت عملیاتی یک بار باز وبست کردن یا بازگشایی خودکار پیاده‌سازی و اجرا شود [۲۱].

یکی از پارامترهای مهم در رفتار دینامیکی مبدل فلای بک بویژه در مود عملکرد ولتاژی، مقاومت داخلی خازن‌های خروجی است. در [۲۲] با محاسبه تابع تبدیل مبدل با در نظر گرفتن این پارامتر، کنترلر جدیدی برای مبدل طراحی شده است. در [۲۳] از مبدل فوروارد-فلای بک برای شارژ باتری‌های لیتیومی استفاده شده است. در اینجا کنترل بر مبنای متعادل‌سازی شارژ باتری‌ها صورت می‌گیرد. در [۲۴] روشی جدید برای طراحی پارامترهای مبدل فوروارد-فلای بک و کنترل‌کننده مد لغزشی برای آن پیشنهاد شده است که کاربرد آن در منابع تغذیه سوئیچینگ است. پاسخ فرکانسی مبدل در لحظه راه اندازی و دینامیک آن در زمان تغییرات آنی بار در این پژوهش مد نظر

ولتاژ برداشت شده مطابق شکل ۱. به قطعه‌ی آپ امپ می‌رسد، که وظیفه‌ی آن مقایسه نمونه ولتاژ با ولتاژ مرجع می‌باشد. خروجی تقویت‌کننده مطابق معادله (۲) به دست می‌آید. از آنجاکه با قطع خطا جریان بلافاصله افت می‌کند و خطا پاک می‌شود، برای اینکه تعداد قطع و وصل‌ها زیاد نباشد یک فیدبک RC در مسیر آپ امپ قرار داده شده است.

$$V_{OUT} = \frac{-2.5C_{11}R_{12} + 2.5R_9C_{11} - R_9C_{11}V_{ERROR} + 2.5t - tV_{ERROR}}{C_{11}R_{12}} \quad (2)$$

مطابق شکل ۱. خروجی آپ امپ به یک اپتوکوپلر داده می‌شود. استفاده از اپتوکوپلر علاوه بر بافر شدن سیگنال خطا، به حفظ ایزولاسیون الکتریکی در دو سمت ترانسفورماتور کمک می‌کند. خروجی اپتوکوپلر به فیدبک آی سی متصل است و آی سی با دریافت سیگنال از اپتوکوپلر دو کار می‌تواند انجام دهد. یکی اینکه فرکانس یا تعداد خاموش و روشن شدن را تغییر دهد، دیگر اینکه می‌تواند سیکل وظیفه یا مدت‌زمان خاموش و روشن شدن را تغییر دهد که روش دوم مرسوم‌تر است. با تغییراتی در آی سی میزان ولتاژ خروجی هم تغییر می‌کند و این چرخه دائما در حال تکرار است تا جایی که آپ امپ دیگر خطا نگیرد. کنترل جریان که برای تشخیص اضافه جریان می‌باشد، از طریق مقاومت سری با ماسفت Q1 در شکل ۱ نشان داده شده است، انجام می‌شود. در آی سی کنترل‌کننده‌های، ورودی به محدودکننده جریان پیک، توسط مقایسه‌گر PWM کنترل می‌شود. با استفاده از یک مقاومت حسگر جریان، ولتاژ خروجی تقویت‌کننده خطا، میزان جریان پیک سیستم را در هر چرخه کنترل می‌کند. این ولتاژ خروجی به صورت چرخه به چرخه تنظیم می‌شود و حداکثر سیگنال حسگر جریان پیک به ۱ ولت محدود می‌شود.

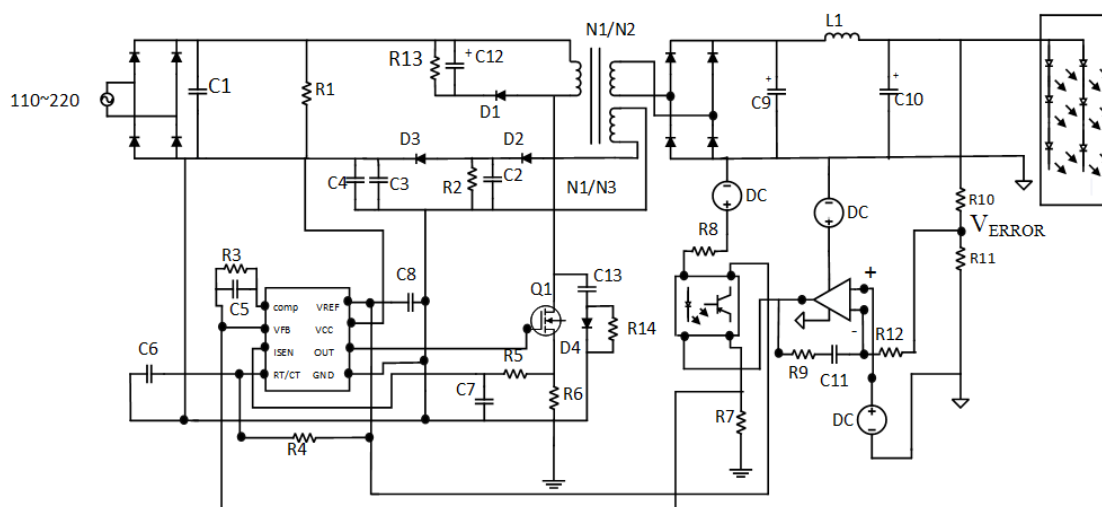
بوده است. اگرچه نقطه ضعف آن نیاز به میکروکنترلر قوی برای پیاده سازی عملی است. در [۲۵] راهکار دیگری برای بهبود مبدل فلای بک پیشنهاد شده است که بر مبنای ساختار اینترلیود و سوئیچینگ نرم استوار است. در این ساختار هدف اصلی کاهش تلفات مبدل برای کاربردهایی نظیر فتوولتائیک است. اما همچنان وابستگی ساختار پیشنهادی به میکروکنترلر نقطه ضعف اصلی آن است.

این مقاله ابتدا به تحلیل یک مبدل AC/DC/DC می‌پردازد که در سمت DC/DC از یک مبدل فلای بک با کنترل جریانی بهره می‌برد. سپس عملکرد این مدار را در زمان سوختن LED ها بررسی می‌کند. در ادامه یک مدار اکتیو برای قطع کردن جریان رشته LED با افزایش بیش از حد جریان به مدار اصلی اضافه می‌شود. در این مدار برای هر رشته LED یک کلید ماسفت مورد نیاز است. سپس سیگنال قطع ماسفت را وارد یک مدار منطقی می‌کند که با شمارش سکسکه زدن ها توسط یک شمارنده پالس قطع دائمی مدار قدرت را تولید می‌کند. این پالس توسط یک فلیپ فلاپ تا زمانی که اپراتور مدار را راه اندازی مجدد کند یا برق چراغ در پایان روز کاری قطع وصل شود حفظ می‌کند.

۲- طراحی سیستم پیشنهادی

همان‌طور که در شکل ۱. مشاهده می‌شود یک درایور LED مبتنی بر فلای بک شامل کنترل ولتاژ خروجی و کنترل جریان در سمت اولیه می‌باشد. کنترل ولتاژ که برای تشخیص اضافه ولتاژ خروجی است شامل یک تقسیم ولتاژ مقاومتی، آپ امپ و اپتوکوپلر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱. نشان داده شده است در بخش خروجی نمونه ولتاژ را باید با استفاده از دو مقاومت (R_{10}, R_{11}) برداشت. معادله نمونه ولتاژ عبارت است از:

$$V_{ERROR} = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \times V_o \quad (1)$$



شکل (۱): درایور LED مبتنی بر توپولوژی فلای بک با قابلیت تشخیص اضافه ولتاژ و اضافه جریان

جدول (۱): جدول صحت D_FLIP FLOP

Inputs			Outputs	
Clear	Clock	D	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	L	H
H	$\uparrow$	H	H	L
H	$\uparrow$	L	L	H
H	L	X	Q_0	$\bar{Q}_0$

معادلات ورودی و خروجی آپ امپ به صورت زیر می باشد.

$$V_{R15} = R_{15} \times i_{LED} \quad (۳)$$

$$V_{OUT} = \frac{V_{17} t - 0.56t + R_{17} V_{15} C_{14} - 0.58R_{17} C_{14} + 0.58R_{16} C_{14}}{R_{16} C_{14}} \quad (۴)$$

بخش دوم، ماژول نگهدارنده خطاست که شامل فلیپ فلاپ و تایمر می باشد. فلیپ فلاپ که سیگنال خطا را نگه دارد به این ترتیب باینکه با صادر شدن سیگنال خطا ماسفت قطع می شود و بلافاصله خطا از بین می رود ولی فلیپ فلاپ کمک می کند که سیگنال خطا حفظ شود تا موقعی که تایمر دستور ریست شدن فلیپ فلاپ را بدهد. اطلاعات موجود در ورودی های D که نیازهای زمان راه اندازی را برآورده می کنند به خروجی های Q در لبه مثبت پالس ساعت منتقل می شوند. تحریک کلاک در یک سطح ولتاژ خاص رخ می دهد و مستقیماً با زمان انتقال پالس مثبت مرتبط نیست. هنگامی که ورودی کلاک در سطح بالا یا پایین باشد،

۲-۱- سیستم پیشنهادی تشخیص و قطع خطای اضافه

جریان

سیستم پیشنهادی تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سسکسکه زدن در شکل ۲ دیده می شود. این سیستم به صورت فعال جریان های LED را در هر کانال به طور مستقل با استفاده از یک تنظیم کننده خطی کنترل می کند. ارتقا دادن این روش برای تعیین نوع خطا و همچنین کنترل جریان هر رشته LED به صورت مستقل می باشد. مرسوم ترین خطا سوختن LED در یکی از رشته ها است. سیستم تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سسکسکه زدن از قسمت های زیر تشکیل شده است:

(۱) مدار تشخیص خطا

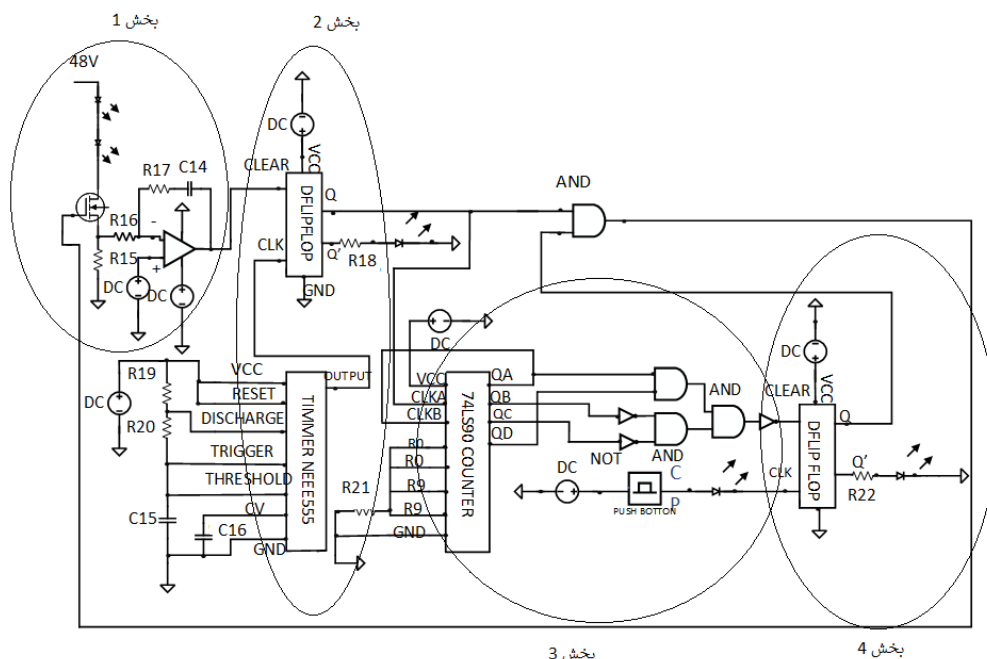
(۲) ماژول نگهدارنده سیگنال خطا بر اساس تراشه فلیپ فلاپ

و تایمر ریست کننده بر اساس تراشه (NE555)

(۳) ماژول شمارنده خطا

(۴) ماژول قطع کننده دائمی بر اساس فلیپ فلاپ

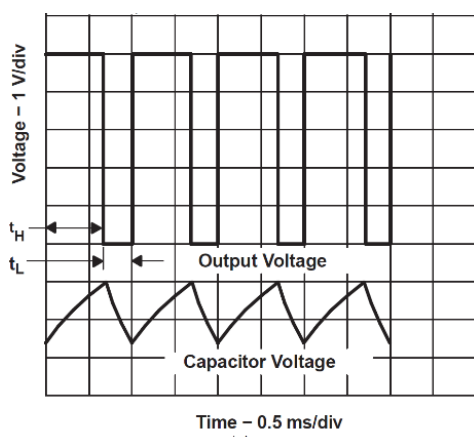
مدار تشخیص خطا شامل یک ماسفت و مقاومت سری با رشته LED و یک آپ امپ می باشد. ولتاژ مقاومت سری در رشته LED با یک مقدار ولتاژ مرجعی توسط آپ امپ مقایسه می شود. هنگامی که جریان رشته LED افزایش پیدا کند در نتیجه مقدار ولتاژ مقاومت افزایش می یابد. پس با مقایسه مقدار ولتاژ دوسر مقاومت با ولتاژ مرجع آپ امپ، سیگنال خطا توسط آپ امپ آشکار می شود.



شکل (۲): سیستم پیشنهادی تشخیص و قطع چراغ LED

بالا و (L) به معنای سطح ولتاژ پایین می باشد. همان طور که در شکل

سیگنال ورودی D هیچ اثری در خروجی ندارد. مشخصات آن در جدول ۱ به شرح زیر است. در جدول صحت، (H) به معنای سطح ولتاژ



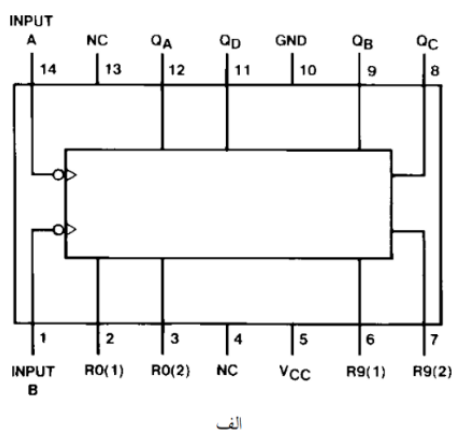
شکل (۳): آی سی NE555

الف: شکل مدار آستانه ب: شکل موج‌های آستانه معمولی

جدول (۲): جدول صحت خروجی شمارنده

Count	Output			
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

همان‌طور که در شکل ۳، نشان داده شده است خروجی Q فلیپ فلاپ به آی سی AND که فلیپ فلاپ دوم نیز خروجی Q آن بدان متصل است و آی سی کانتر (شمارنده) وصل می‌شود. بخش سوم در شکل ۴، ماژول شمارنده است که شامل شمارنده و گیت‌های منطقی شامل AND و NOT می‌باشد. شمارنده تعداد سکسکه زدن‌ها را می‌شمارد و حداکثر بعد از ۹ بار سکسکه زدن خروجی یک می‌دهد.



الف

(زمان سنج) CLOCK (کلاک) می‌خورد. این امر سبب می‌شود که کلید (ماسفت) کمتر قطع و وصل شود که هم تلفات در اثر قطع و وصل شدن و هم فرکانس سوئیچینگ کلید کاهش پیدا کند تا از سوختن خود کلید جلوگیری شود.

معادلات و روابط آی سی NE555 بر اساس شکل ۳، به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۳، نشان داده شده است، افزودن یک مقاومت دوم، R_B ، اتصال ورودی تحریک (trigger input) به ورودی آستانه (threshold input)، باعث می‌شود تایمر به صورت خودکار فعال شود و به عنوان یک مولتی وایبراتور کار کند. خازن C از طریق R_A و R_B شارژ می‌شود و سپس فقط از طریق R_B تخلیه می‌شود. بنابراین، چرخه وظیفه توسط مقادیر R_A و R_B کنترل می‌شود. شکل ۳، شکل موج‌های معمولی را نشان می‌دهد که در طول عملیات آستانه ایجاد می‌شوند. مدت زمان خروجی سطح بالا t_H و مدت زمان سطح پایین t_L را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$t_H = 0.693 \times (R_A + R_B) \times C \quad (5)$$

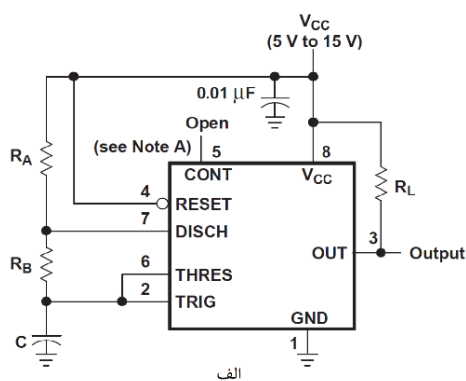
$$t_L = 0.693 \times (R_B) \times C \quad (6)$$

دوره تناوب برابر است با:

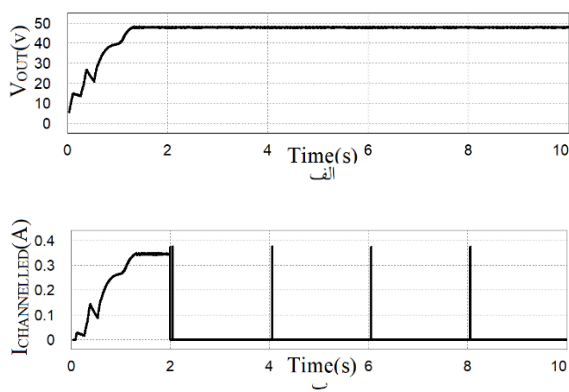
$$T = t_L + t_H = 0.693 \times (R_A + 2R_B) \times C \quad (7)$$

فرکانس نهایی پالس تولیدی برابر است با:

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) \times C} \quad (8)$$



الف



شکل (۴): گیت شمارنده الف : پیکربندی پین ب : بازنشانی/شمارش جدول صحت

Reset Inputs				Output			
R0(1)	R0(2)	R9(1)	R9(2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

ب

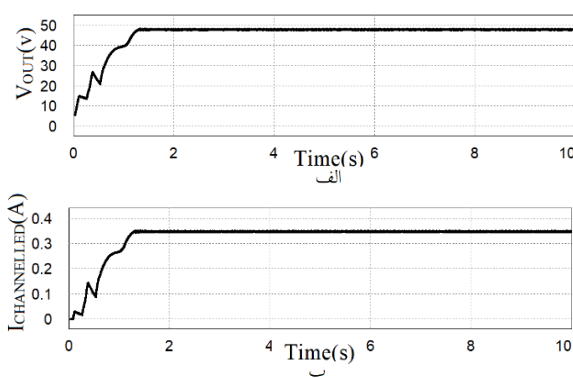
شکل (۴): گیت شمارنده الف : پیکربندی پین ب : بازنشانی/شمارش

جدول صحت

همان‌طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، پایه‌های Q به‌عنوان خروجی و پایه‌های A و B به‌عنوان پالس شمار ورودی و پایه‌های R طبق شکل (۴-ب) جدول به‌عنوان بازنشانی ورودی (Reset) تلقی می‌شود. برای استفاده از حداکثر طول شمارش شمارنده (دهه یا چهار بیت باینری)، ورودی B به خروجی QA متصل می‌شود. پالس‌های شمارش ورودی به ورودی A اعمال می‌شود و خروجی‌ها همان‌طور که در جدول صحت مناسب توضیح داده شده است، بخش چهارم مازول قطع‌کننده دائمی : شامل فلیپ فلاپ می‌باشد. اساس کار این است که اگر شمارنده تعداد زیادی سکسکه زدن را نشان داد ماسفت را خاموش کند تا زمانی که اپراتور دوباره آن را وصل کند.

۳- شبیه‌سازی سیستم درایور LED تحت مطالعه

پارامترهای مدار قدرت شکل (۱) و مدار سیستم پیشنهادی تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سکسکه زدن شکل (۲) در جدول (۳) بیان شده است.



شکل (۵): نتایج ولتاژ و جریان خروجی از مدار درایور LED در حالت بدون خطا، الف : ولتاژ خروجی درایور LED ب : جریان رشته درایور LED

شکل (۵) نتایج ولتاژ و جریان خروجی از مدار درایور LED شکل ۱. در حالت بدون خطا می‌باشد. شکل (۵-الف) ولتاژ خروجی درایور LED را نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن ۴۸ ولت می‌باشد. همچنین شکل (۵-ب) جریان رشته درایور LED نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن ۳۵۰ میلی‌آمپر است. در هر دو مورد ریبیل شکل موج خروجی کمتر از ۵٪ است که با استاندارد انطباق دارد. شکل (۶) نتایج ولتاژ و جریان خروجی از مدار درایور LED شکل (۲) در حالت خطا در اثر سوختن یک LED رشته را نشان می‌دهد. چنین خطایی باعث جهش جریان به ۳۷۶ میلی‌آمپر شده و باعث قطع شدن ماسفت سری با رشته LED می‌شود. بنابراین تنها رشته‌ای که دچار آسیب شده قطع می‌شود درحالی‌که ولتاژ خروجی در سطح ۴۸ ولت حفظ شده است. بنابراین چنانچه مدار روشنایی از چند رشته موازی تشکیل شده باشد دیگر رشته‌ها می‌توانند به کار خود ادامه دهند.

۴- نتایج آزمایشگاهی

شکل (۷) یک نمونه آزمایشگاهی از کنترلر جریان ساخته شده بر اساس قطعات جدول (۳) را نشان می‌دهد. این مدار ساخته شده در چند حالت مختلف تحت آزمایش قرار می‌گیرد که در ادامه توضیح داده می‌شود. در ابتدا یک رشته LED شامل ۱۵ عدد LED ساخته شده، و این رشته را به ولتاژ ۴۸ ولت که همان $V_{out}(V)$ است وصل شده تا جریان ۳۵۰ میلی‌آمپر از این رشته بگذرد. یک مقاومت ۱۳ اهمی ۵ وات در پایین رشته LED به‌صورت سری با رشته LED قرار داده می‌شود که جریان هر رشته I_{LED} را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار ولتاژ خطا پیش از خطا ۷۰ میلی‌ولت می‌باشد. هنگامی که خطا در اثر سوختن LED در تک رشته LED رخ دهد مقدار جریان رشته LED افزایش می‌یابد در نتیجه ولتاژ دو سر مقاومت سری نیز افزایش می‌یابد و این ولتاژ $I_{OUT} (0.5A/div)$ از ولتاژ اولیه‌اش بیشتر می‌شود. این تک رشته LED را در چند حالت بررسی شده است.

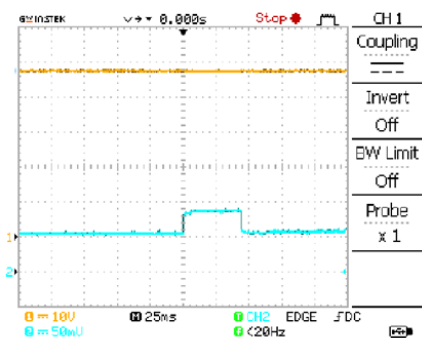


شکل (۷): سیستم تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سسکسه زدن

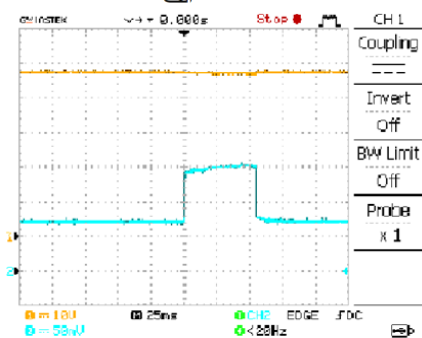
جدول (۳): فهرست اجزای کلیدی

نوع	قطعه
RS507	پل دیود
UC2845	آی سی کنترل کننده
TL081	آپ امپ
PC817	اپتوکوپلر
312 V/100 V	نسبت ترانس
۱ وات ۳۵۰ میلی آمپر، ۱۵ عدد	LED
۴۸ ولت	ولتاژ خروجی
SN74LS175	فلیپ فلاپ
NE555	تولید کننده پالس
74LS90	شمارنده
CD4081	گیت AND
CD7404	گیت NOT

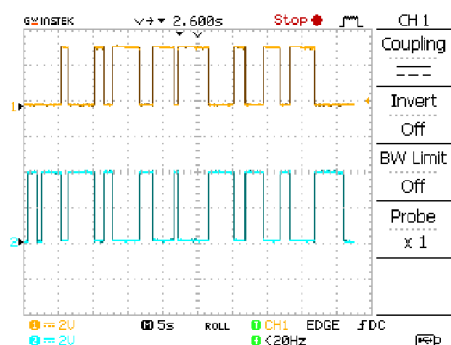
مطابق شکل (۸-الف)، حالت اول هنگامی است که یک LED در تک رشته بسوزد. در اثر سوختن این LED جریان به طور ناگهانی کمی افزایش می یابد و I_{OUT} (0.5A/div) از ۷۰ به ۸۵ میلی آمپر تغییر می کند ولی ولتاژ $V_{out}(V)$ ثابت می ماند. مطابق شکل (۸-ب)، حالت دوم هنگامی است که دو LED در تک رشته بسوزد، در اثر سوختن این دو LED جریان به طور ناگهانی افزایش می یابد و I_{OUT} (0.5A/div) از ۷۰ به ۱۵۰ میلی آمپر تغییر می کند ولی ولتاژ $V_{out}(V)$ باز هم ثابت می ماند. مطابق شکل (۸-ج)، حالت سوم هنگامی است که سه LED در تک رشته بسوزد، در اثر سوختن این LED جریان به طور ناگهانی افزایش می یابد و I_{OUT} (0.5A/div) از ۷۰ به ۲۰۰ میلی آمپر تغییر می کند و ولتاژ $V_{out}(V)$ ثابت افت ناچیزی حدود ۲ ولت پیدا می کند. مطابق شکل (۸-د)، حالت چهارم هنگامی است که چهار LED در تک رشته بسوزد، در اثر سوختن این LED جریان به طور ناگهانی افزایش می یابد و I_{OUT} (0.5A/div) از ۷۰ به ۲۵۰ میلی آمپر تغییر می کند و ولتاژ $V_{out}(V)$ نیز افت حدود ۵ ولت را خواهد داشت. هنگامی که هیچ خطایی در اثر سوختن LED در یک رشته نباشد، مطابق شکل (۲) ولتاژ که از دو سر مقاومت R_{15} که واقع همان ولتاژ مرجع آپ امپ است برداشت می شود. هنگامی که خطایی رخ دهد اتصال کوتاه شدن یک یا چند LED باعث افزایش مقاومت بقیه شده و با توجه به رابطه غیر خطی ولتاژ-جریان دیود، افزایش ناگهانی در جریان رشته را به دنبال دارد. هر چه تعداد LED بیشتری در یک رشته بسوزد جریان افزایش پیدا می کند و در نتیجه I_{OUT} (0.5A/div) افزایش پیدا می کند. شکل (۱۰) ولتاژ ورودی و خروجی آپ امپ را نشان می دهد. هنگامی که خطا رخ دهد ولتاژ خروجی از ۸ ولت به صفر می رسد. شکل (۱۱) ولتاژ خروجی فلیپ فلاپ اول می باشد. هنگامی که اولین خطا رخ می دهد، ولتاژ $V_{Q1}(V)$ از وضعیت یک به صفر تغییر می کند.



الف

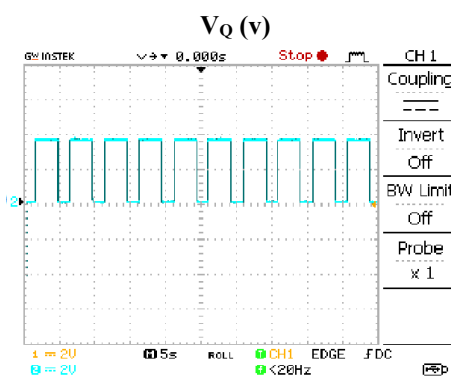


ب



Time(s)

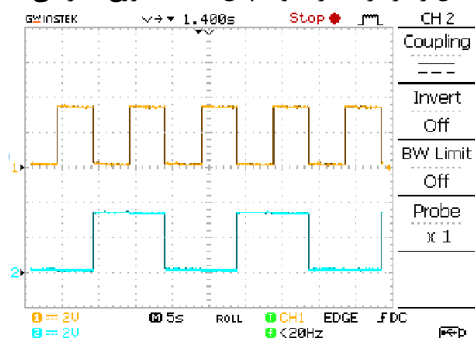
شکل (۱۰): ولتاژ خروجی فلیپ فلاپ اول (Ch1 $V_{Q1}(v)$) (Ch2 $V_{Q2}(v)$)



Time(s)

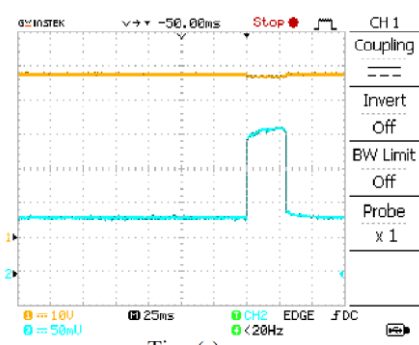
شکل (۱۱): پالس ولتاژ خروجی آی سی NE555 (Ch2 $V_{PULSE}(v)$)

هنگامی که وضعیت $r(1001)$ در ولتاژ خروجی شمارنده ظاهر شود یعنی ۹ بار شمارش خطا انجام شده و با نهمین بار مقدار $V_{shut\ down}(v)$ صفر می شود. این خروجی به یک فلیپ فلاپ اعمال می شود و توسط آن در وضعیت صفر حفظ می شود و به این ترتیب جلوی روشن شدن مجدد ماسفت سری با رشته LED گرفته می شود. این وضعیت باقی می ماند تا زمانی که کاربر کلید پالس کلک فلیپ فلاپ دوم را بزند یا برق کل مجموعه در پایان روز کاری قطع شود و مدار راه اندازی مجدد شود، به طوری کلی این سیستم پیشنهادی تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سکسکه زدن سوختن حتی یک LED در رشته را تشخیص می دهد و بعد از ۹ بار سکسکه زدن خاموش می شود، تا کاربر مشکل را برطرف کرده و سپس مجدد شروع بکار می کند.

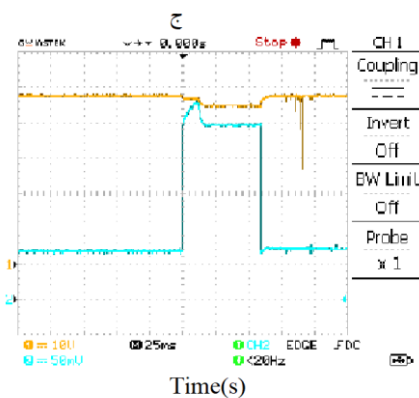


Time(s)

الف



Time(s)



Time(s)

شکل (۸): ولتاژ و جریان رشته LED تحت خطا، (Ch1 V_{out} Ch2 I_{out})

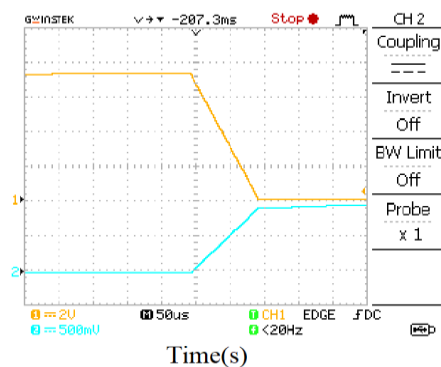
الف: خروجی سیستم به ازای سوختن یک LED

ب: خروجی سیستم به ازای سوختن دو LED، ج: خروجی سیستم

به ازای سوختن سه LED د: خروجی سیستم به ازای سوختن چهار

LED

مطابق شکل ۱۲. آی سی NE555 در خروجی یک پالس با فرکانس پایین و عرض پالس ۵۰٪ تولید کرده که مقدار آن بین صفر و ۵ ولت متغیر است و به کلک آی سی فلیپ فلاپ اعمال می شود. مطابق شکل (۱۳) پالس ولتاژ خروجی شمارنده 74LS90 می باشد. این شمارنده تا عدد ۹ را می شمارد و ولتاژ آن بین صفر تا ۵ متغیر است. در خروجی نهایی مدار پالس تولید شده توسط شمارنده $V_{shut\ down}(v)$ می باشد که در شکل (۱۴) دیده می شود.



Time(s)

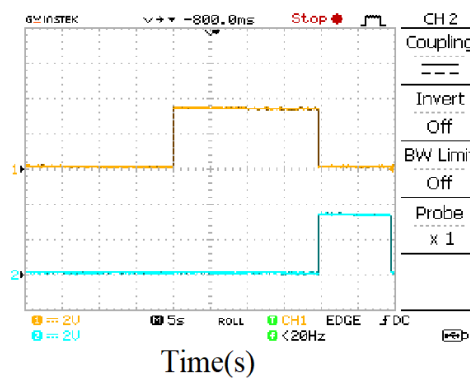
شکل (۹): ولتاژ ورودی و خروجی آپ امپ (Ch1 $V_{in}(v)$ Ch2 $V_{out}(v)$)

$V_{in}(v)$

طرح نشان داد مدار پیشنهادی به خوبی وقوع خطا در یک رشته LED را تشخیص داده و بدون قطع ولتاژ خروجی درایور، رشته آسیب دیده را بعد از چند بار سسکه زدن به طور دائم قطع می کند. به این ترتیب رشته LED های سالم در یک چراغ می تواند به کار خود ادامه دهد.

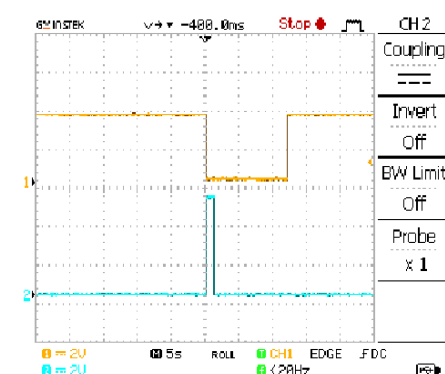
مراجع

- [1] H.R. Kolla, N. Vishwanathan, and B.K. Murthy, 2020. Input voltage controlled full-bridge series resonant converter for LED driver application. IET Power Electronics, 13(19), pp.4532-4541.
- [2] D.T. Do, H. Cha, B.L.H. Nguyen, and H.G. Kim, 2018. Two-channel interleaved buck LED driver using current-balancing capacitor. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 6(3), pp.1306-1313.
- [3] M. Esteki, S.A. Khajehoddin, A. Safaee, and Y. Li, 2023. LED Systems Applications and LED Driver Topologies: A Review. IEEE Access.
- [4] Z. Dong, X.L. Li, and C.K. Tse, 2019. Improved-efficiency quasi-two-stage current-source-mode SIMO LED driver. IET Power Electronics, 12(12), pp.3286-3294.
- [5] Z. Dong, K.T. Chi, and S.R. Hui, 2018. Current-source-mode single-inductor multiple-output LED driver with single closed-loop control achieving independent dimming function. IEEE Journal of Emerging and selected topics in power electronics, 6(3), pp.1198-1209.
- [6] Z. Dong, K.T. Chi, and S.R. Hui, 2018. Circuit theoretic considerations of LED driving: Voltage-source versus current-source driving. IEEE Transactions on Power Electronics, 34(5), pp.4689-4702.
- [7] X. Zhan, W. Wang, and H. Chung, 2018. A neural-network-based color control method for multi-color LED systems. IEEE Transactions on Power Electronics, 34(8), pp.7900-7913.
- [8] R. Zhang, Z. Cao, L. Cao, and E. Peng, 2023. Fully Decoupled Current Control and Current Balancing of the Modular Structure for LED Color-Mixing System. IEEE Access.
- [9] W.T. Tsai, Y.J. Chen, and Y.M. Chen, 2022. A Modified Forward PFC Converter for LED Lighting Applications. IEEE Open Journal of Power Electronics, 3, pp.787-797.
- [10] J. Huang, Q. Luo, Q. He, A. Zu, and L. Zhou, 2018. Analysis and design of a digital-controlled single-stage series-type LED driver with independent n-channel output currents. IEEE Transactions on Power Electronics, 34(9), pp.9067-9081.
- [11] S. Song, K. Ni, G. Chen, Y. Hu, and D. Yu, 2019. Multi-output LED driver integrated with 3-switch converter and passive current balance for portable applications. Journal of Power Electronics, 19(1), pp.58-67.
- [12] A. Zu, Q. Luo, J. Huang, Q. He, P. Sun, and X. Du, 2020. Analysis and design of a multi-channel constant current LED driver based on DC current bus distributed power system structure. IET Power Electronics, 13(4), pp.627-635.
- [13] S.W. Lee, and H.L. Do, 2017. Boost-integrated two-switch forward AC-DC LED driver with high power factor and ripple-free output inductor current. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(7), pp.5789-5796.
- [14] X. Li, X. Liu, R. Xiao, Q. Zhou, and Z. Zhang, 2019. Single-switch multi-output converters as second stage of LED driver. IET Power Electronics, 12(4), pp.769-776.
- [15] X. Liu, Y. Wan, Z. Dong, M. He, Q. Zhou, and K.T. Chi, 2019. Buck-boost-buck-type single-switch multistring



شکل (۱۲): ولتاژ خروجی شمارنده

الف: ولتاژ (Ch1) V_{QA} (Ch2) V_{QB} ب: ولتاژ (Ch1) V_{QC} (Ch2) V_{QD}



شکل (۱۳): پالس Shut down تولید شده توسط مدار پیشنهادی

ولتاژ (Ch1) $V_{shut\ down\ (v)}$ (Ch2) V_{QA}

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم درایور LED ارائه شده است که شامل مبدل فلای یک به عنوان مبدل اصلی است و می تواند شامل دو یا چند رشته LED مجزا و موازی با هم می باشد. برای کنترل جریان رشته های LED از ماسفت سری استفاده شده است و فیدبک جریان توسط مقاومت سری انجام شده است. سپس مداری برای تشخیص اضافه جریان قرار داده شده که از طریق آپ امپ با یک ولتاژ مرجع خطا را تشخیص می دهد و ماسفت را قطع می کند. چنانچه یک یا چند LED در یک رشته سری سوخته و به اتصال کوتاه تبدیل شده باشد، خطای اضافه جریان دائمی در مدار ایجاد شده و باعث قطع و وصل مکرر مدار و وقوع پدیده سسکه زدن می شود. برای جلوگیری از چنین مشکلی یک مدار شمارنده خطا قرار داده شده که بعد از حداکثر ۹ بار سسکه زدن مدار تشخیص خطا ماسفت را به طور دائمی قطع کند. در این طرح جریان هر کدام از رشته های LED به صورت مجزا کنترل می شود. این سیستم تشخیص و قطع چراغ LED روشنایی معابر در حالت سسکه زدن در واقع ارتقا یافته روش فعال نوع خطی می باشد. نتایج اجرای این

- resonant LED driver with high power factor and passive current balancing. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(5), pp.5132-5143.
- [16] X. Liu, X. Li, Q. Zhou, and J. Xu, 2018. Flicker-free single switch multi-string LED driver with high power factor and current balancing. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(7), pp.6747-6759.
- [17] K. Cao, X. Liu, M. He, X. Meng, and Q. Zhou, 2020. Active-clamp resonant power factor correction converter with output ripple suppression. *IEEE Access*, 9, pp.5260-5272.
- [18] T. Liu, X. Liu, M. He, S. Zhou, X. Meng, and Q. Zhou, 2020. Flicker-free resonant LED driver with high power factor and passive current balancing. *IEEE Access*, 9, pp.6008-6017.
- [19] C. Ye, P. Das, and S.K. Sahoo, 2019. Peak current control-based power ripple decoupling of ac-dc multichannel led driver. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(12), pp.9248-9259.
- [20] C. 20_Ye, P. Das, and S.K. Sahoo, 2018. Peak current control of multichannel LED driver with selective dimming. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(5), pp.3446-3457.
- [21] M. Ebadi, N. Abbasi, and H. Maghsoudi, 2022. A fast and cost-effective short circuit protection scheme for low-power converters for small-scale photovoltaic application. *Circuit World*, 48(3), pp.366-376.
- [22] S M. Ahmadi, N. Abjadi, S V. Mirmoghtadaei, E. Adib, Dynamic Analysis of the Forward-Flyback Converter Considering the ESR of the Output Capacitor and Comparing it with the Flyback Converter. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers* 2024; 21 (2) :35-45.
- [23] H. Khalili, S A. Abrishamifar, F. Oskuee, Automatic and fast balancing circuit for Series-Connected lithium-ion batteries based on forward-flyback hybrid converter. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers* 2021; 18 (4) :149-154.
- [24] M. Salimi, A novel approach for sliding mode controller design and parameters selection in flyback switching power supplies . *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers* 2019; 16 (3) :1-12.
- [25] M. ESLAMI, A. SIADATAN, G R. JAVANI, Design and Simulation of a DC-DC Converter Interleaved By Using Soft Switching Techniques as an Interface Circuit in Renewable Energy Sources. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers* 2022; 19 (2) :149-158.