

WPLYW ROZŁOŻENIA ELEMENTÓW PRZETWORNICY ST1S10PUR NA ROZKŁAD TEMPERATURY

Elżbieta EKIERT¹, Stanisław GALLA²

1. e-mail: ekiert.ela@gmail.com
2. Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska
tel: (58) 347 21 40 fax: (58) 341 61 32 e-mail: galla@eti.pg.gda.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono wpływ zmian rozłożenia elementów w przetwornicy ST1S10PUR o topologii typu Buck na emisję termiczną z układu. Wpływ był analizowany na przykładzie wprowadzania drobnych zmian w rozkładzie ścieżek mozaiki połączeń we wszystkich rozpatrywanych konfiguracjach. Zastosowane zmiany w topologii połączeń pozwalają na oszacowanie rzeczywistych parametrów przetwornicy oraz pozwalają na ocenę ich wpływu na charakterystyki emisji termicznej.

Słowa kluczowe: zasilanie, termowizja, mozaika połączeń

1. WPROWADZENIE

Zagadnienia związane z nagrzewaniem się elementów półprzewodnikowych stanowią jedno z podstawowych ograniczeń konstrukcyjnych urządzeń elektronicznych. Obecnie w związku z masowym stosowaniem różnorodnej konwersji napięć zasilających dla układów elektronicznych mamy do czynienia z masowym wykorzystywaniem monolitycznych przetwornic zasilających, które umożliwiają elastyczne dostosowanie do aktualnych potrzeb układu elektronicznego. Umożliwiają one dzięki pracy na wyższych częstotliwościach na uzyskiwanie dużych gęstości energii przetwarzanych. Wiąże się to jednakże z koniecznością bardzo dokładnego opracowywania mozaiki połączeń danego układu. Zarówno z względu na konieczność zapewnienia minimalizacji emisji elektromagnetycznych (zagadnienie to omówiono w [1]) jak i zapewnienia kompromisu pod względem nagrzewania się układu. Producenci scalonych przetwornic monolitycznych nierzadko zamieszczają zalecenia dotyczące preferowanych rozwiązań topologicznych mających na celu minimalizowanie różnorodnych emisji. W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem rozłożenia elementów na emisję termiczną przetwornicy typu ST1S10PUR firmy STMicroelectronics. Przetwornica powyższa zaliczana jest do układów monolitycznych, w pełni scalonych typu Buck. Pozwala ona na uzyskanie napięć w zakresie od 0,8 V do 85% napięcia zasilania przy obciążeniach do 3 A. Dopuszczalne napięcia zasilania przetwornicy powinny mieścić się pomiędzy 2,5 V do 18 V. Dodatkowo zgodnie z deklaracją producenta przetwornica charakteryzuje się sprawnością przetwarzania rzędu 90%. Przetwornica pracuje w pełni synchronicznie, co oznacza

brak potrzeby stosowania diody jako klucza. Napięcie wyjściowe układu ustalane jest przez próbkowanie wyjścia dzielnikiem rezystorowym [2]. Powyższa przetwornica jest jedną z wielu dostępnych na rynku i charakteryzuje się dużą powszechnością różnorodnych zastosowań.

W pracy przedstawiono zarejestrowane profile nagrzewania się samej przetwornicy jak i wybranych komponentów układu pozwalające na wskazanie optymalnej konfiguracji ułożenia elementów układu pozwalającej na zmniejszenie przyrostów temperatury osiąganych w czasie jego pracy. Wszystkie pomiary przyrostów temperatury realizowane w niemniejszej pracy były wykonywane optycznymi metodami bezstykowymi.

2. TEORIA POMIARÓW BEZSTYKOWYCH

Bezstykowy pomiar temperatury opiera się o wykorzystanie zjawiska emisji promieniowania cieplnego przez każdy obiekt, którego temperatura jest wyższa od 0 K. Wartość natężenia promieniowania cieplnego dla ciała doskonale czarnego w funkcji długości fali λ opisuje „prawo Plancka”. Równanie Stefana-Boltzmana jest efektem scałkowania krzywej Plancka w całym zakresie długości fali λ , gdzie:

$$E = k_0 \cdot T^4 \quad (1)$$

gdzie:

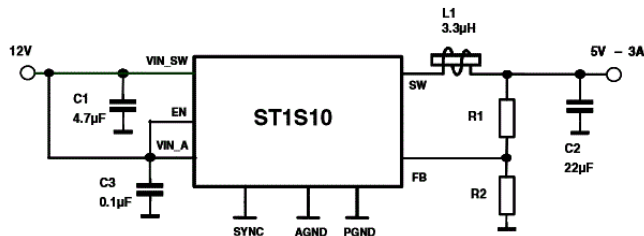
E – moc emisyjna ciała czarnego,
 k_0 – stała Stefana-Boltzmana $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$,
 T – temperatura.

Na podstawie wzoru (1) można stwierdzić, że moc emisyjna ciała czarnego jest ściśle związana z jego temperaturą. Ciała rzeczywiste emitują mniej energii w tej samej temperaturze niż ciało czarne, ze względu na właściwości powierzchni charakteryzowane przez tzw. współczynnik emisyjności względnej (jest to parametr mówiący ile razy promieniowanie ciała rzeczywistego jest mniejsze od promieniowania ciała doskonale czarnego). Należy tu nadmienić, że emisyjność badanych obiektów jest funkcją wielu parametrów m.in. temperatury i w rzeczywistości nie mamy do czynienia z ciałami doskonałymi. Natomiast wyniki pomiarów powinny uwzględniać występowanie wielu różnorodnych czynników wpływających na pomiar [2,

3, 4]. Stosowana obecnie aparatura pomiarowa (kamery termograficzne) ma możliwość uwzględnienia poprawek związanych z zastosowaną optyką i warunkami atmosferycznymi występującymi w czasie trwania pomiarów głównie dzięki oprogramowaniu zintegrowanemu z urządzeniem pomiarowym. W przypadku wykonywanych pomiarów termowizyjnych układu zasilającego powierzchnia obserwowana nie była jednorodna. Użyte elementy SMD charakteryzowały się różną formą ich wykonania, zarówno pod względem zastosowanych do ich budowy materiałów, jak i ich faktury [1]. Za quasi jednorodną płaszczyznę można uznać jedynie powierzchnię płytki PCB. Na tej podstawie należy wnioskować, że w czasie pomiarów termograficznych nie należy traktować uzyskanych obrazów za jednorodne pod względem współczynnika emisyjności. Określanie temperatury na podstawie ogólnie przyjętego współczynnika emisyjności skutkuje znacznymi błędami. Oczywiście możliwe jest wyznaczenie współczynników emisyjności dla poszczególnych obszarów, jednakże bez dodatkowego specjalistycznego oprogramowania jest to znacznie utrudnione. Lepszym rozwiązaniem w takich przypadkach jest wyznaczenie przyrostów temperatury w wybranych obszarach [5].

3. ZREALIZOWANY UKŁAD POMIAROWY

Poddano badaniom płytki PCB powstałe w ramach projektu [1]. Projekt płytki został zrealizowany w programie EAGLE na podstawie noty aplikacyjnej przedstawionej przez producenta [2]. W zrealizowanym projekcie wprowadzono zmiany ujednolicające komponenty na wszystkich badanych płytkach w postaci zamontowania kondensatorów od jednego producenta i pochodzących z jednej partii (bez zmiany ich wartości). Na rysunku 1 przedstawiono schemat aplikacyjny badanej przetwornicy:



Rys. 1. Schemat aplikacyjny przetwornicy ST1S10 [2]

Projekt poszczególnych mozaik połączeń oznaczono od A do G. W projekcie mozaiki A zastosowano proponowany przez producenta rozkład elementów. W pozostałych projektach wprowadzono pojedyncze zmiany w rozkładzie ścieżek. Dokładny opis oraz schematy mozaiki połączeń wraz z wprowadzonymi zmianami zostały opisane w pracy [1] poniżej przedstawiono skrócony opis zastosowanych zmian.

Projekt B – nastąpiło zwiększenie pętli prostownika przez odsunięcie cewki L 1 od przetwornicy ST1S10PUR,

Projekt C – nastąpiło usunięcie płaszczyzny masy spod cewki L 1.

Projekt D – nastąpiło zwiększenie długości linii przechodzącej przez cewkę L 1 od strony zacisków wyjściowych.

Projekt E – zmniejszono pętlę wejściową przetwornicy przez skrócenie tej ścieżki, zmianę uzyskano przez obrót kondensatora C 1 i zmniejszenia pól masy.

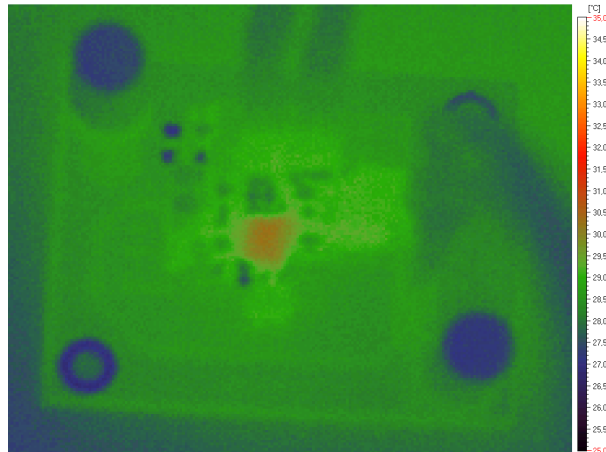
Projekt F i G nastąpiły zmiany w podziałach pól masy układów wejścia i wyjścia.

W celu porównywania wyników uzyskanych w badaniach emisyjności przewodowej opisanych w [1] z wynikami uzyskanymi w poniższych badaniach zastosowano ten sam układ obciążający wyjście przetwornicy, o wartości zmierzonej rezystancji $R = 3,35 \Omega$, zrealizowany w oparciu o połączenie szeregowego trzech rezystorów o wartości nominalnej $R = 1,0 \Omega$ o mocy $P = 5 \text{ W}$. Dla tak zrealizowanego obciążenia przy napięciu wyjściowym wynoszącym $U_{\text{out}} = 5,2 \text{ V}$ prąd wyjściowy wyniósł $I_{\text{out}} = 1,55 \text{ A}$ [1]. Dodatkowo dla celów powyższych badań zrealizowano pomiary przy prądach obciążenia $I_{\text{out}} = 2,5 \text{ A}$ oraz przy $I_{\text{out}} = 3 \text{ A}$. Pomiary termowizyjne realizowano kamerą termowizyjną typu VIGOCam v50 w odległości pomiarowej 550 mm z obiektywem 35 mm. Podstawowe parametry kamery podano w dokumentacji kamery [6].

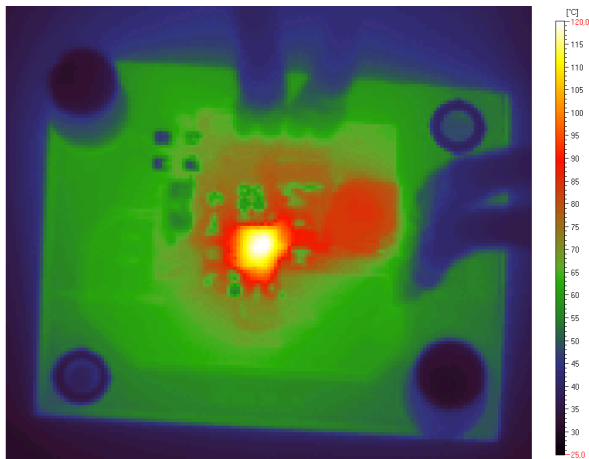
4. ZREALIZOWANE BADANIA UKŁADU

W niniejszym punkcie przedstawiono wybrane wyniki zrealizowanych pomiarów termograficznych dla poszczególnych projektów płytki przetwornicy ST1S10PUR.

Obserwacji w zakresie podczerwieni były poddane obszary: całej płytki reprezentowane m.in. na rysunkach 2 i 3, oraz wyniki przyrostów temperatury zawężone do obszaru przetwornicy ST1S10PUR oraz cewki obwodu wejściowego L 1. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy termogram płytki podstawowej (projekt A) w stanie biegu jałowego po 9 minutach pracy oraz na rysunku 3 przy obciążeniu 3 A po 10 minutach.

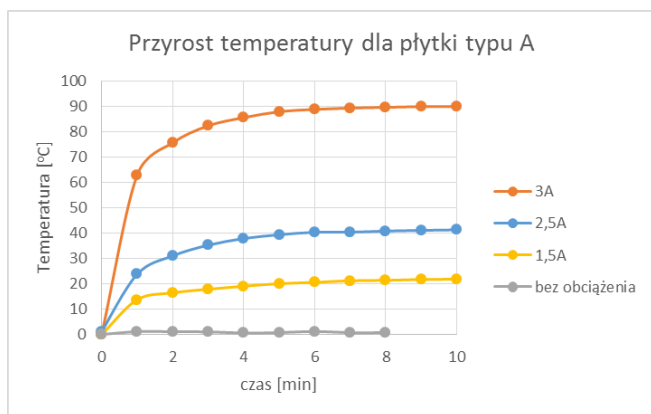


Rys. 2. Termogram mozaiki całej płytki projektu A dla biegu jałowego



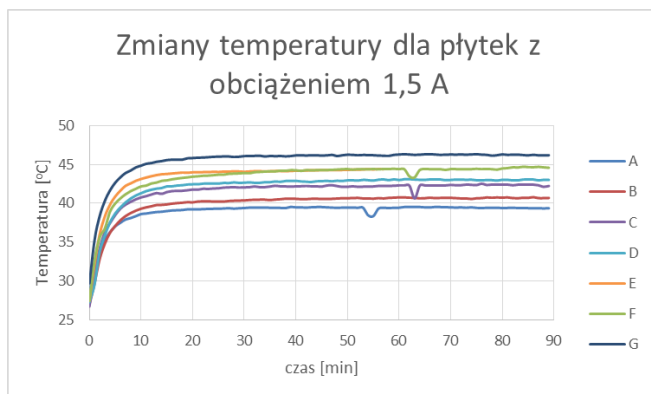
Rys. 3. Termogram mozaiki całej płytki projektu A przy obciążeniu 3 A

Na poniższym wykresie przedstawiono zestawienie zarejestrowanych przyrostów temperatury dla całego obszaru zrealizowanej płytki wg mozaiki A (projektu producenta) w czasie do 10 min.



Rys. 4. Wykres zmian przyrostów temperatury na powierzchni płytki wg projektu A dla różnych wartości obciążenia

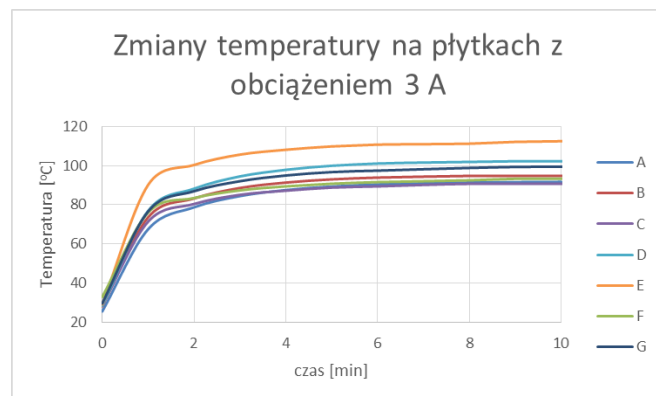
Na rysunku 6 przedstawiono zebrane wyniki obserwacji wszystkich zrealizowanych projektów obwodów drukowanych układu zasilacza wykorzystującego przetwornicę ST1 S10 PUR (projekty od A do G)



Rys. 5. Wykres zmian temperatury na powierzchni płytek wykonanych wg projektów od A do G przy obciążeniu 1,5 A, dla czasu obserwacji 90 min

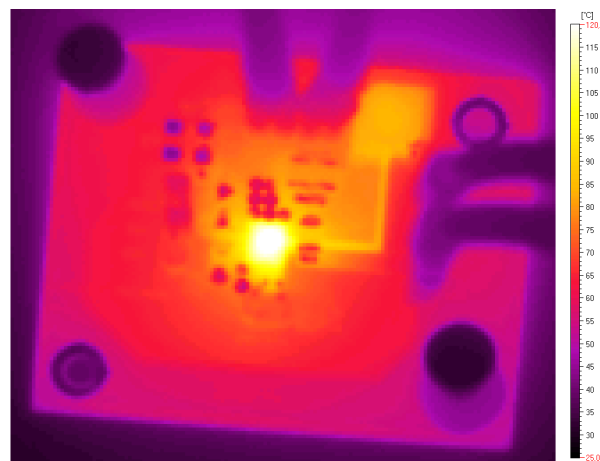
Czasy badań układów przy pełnym obciążeniu zostały zredukowane do 10 min. Redukcja czasu pomiaru została

wykonana na podstawie pierwszych pomiarów nagrzewania badanych płytek. Pomiar te pozwoliły na wyznaczenie stałej stabilizacji temperaturowej układu, przy różnych obciążeniach. W przypadku obciążenia wynoszącego 3 A oszacowany czas stabilizacji temperaturowej wynosił około 6 min. Dla prądu obciążenia 1,5 A stabilizacja temperatury następowała po okresie około 20 min.



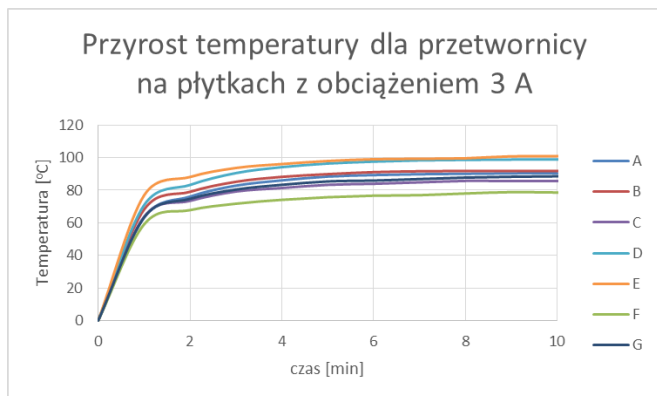
Rys. 6. Wykres zmian przyrostów temperatury na powierzchni płytek wykonanych wg projektów od A do G przy obciążeniu 3 A

Na rysunku 7 przedstawiono zdaniem autorów jedną z ciekawszych rejestracji termograficznych na której widać wyraźnie obszary o zwiększonej emisji termicznej z płytki układu zrealizowanego dla projektu B. W szczególności pokazuje ona znaczne nagrzewanie się ścieżki wyjściowej (pomiędzy przetwornicą a cewką L 1). Należy tu zaznaczyć, iż szerokość ścieżki została w projekcie dobrana zgodnie z zaleceniami producenta.

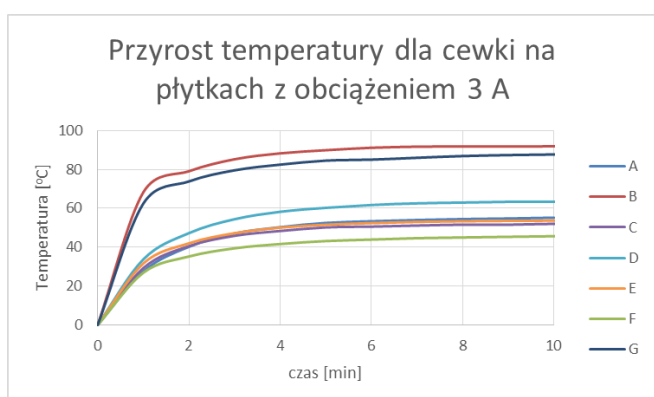


Rys. 7. Termogram mozaiki całej płytki projektu B przy obciążeniu 3 A, dla ustalonego stanu cieplnego

Rysunek 8 przedstawia wykresy zmian przyrostów temperatury przetwornicy ST1S10PUR w poszczególnych realizacjach projektowych (od A do G) dla obciążenia 3 A. Dodatkowo na rysunku 9 przedstawiono zanotowane przyrosty temperatury dla cewki L 1. Przedstawione na rysunku 8 przyrosty temperatur odnoszące się do obciążenia maksymalnego wynoszącego 3 A dla różnych wariantów mozaiki przetwornicy. Wskazują na możliwość włączenia się jej zabezpieczenia termicznego przy pracy długotrwałej (zgodnie z danymi katalogowymi powinno to nastąpić przy temperaturze 150°C).



Rys. 8. Wykres zmian przyrostów temperatury na powierzchni przetwornicy S1S10PUR dla płytek wykonanych wg projektów od A do G przy obciążeniu 3 A



Rys. 9. Wykres zmian przyrostów temperatury na cewce dla płytek wykonanych wg projektów od A do G przy obciążeniu 3 A.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone pomiary termograficzne modułu zasilającego opartego o przetwornicę S1S100PUR w różnych konfiguracjach mozaiki obwodów wykazały jej stosunkowo dużą czułość na zamiany w topologii rozłożenia komponentów układu. Równocześnie pomiary wskazują, iż stosowanie się do ogólnych zasad projektowych nakazujących minimalizację m.in. pętli wejściowych znacząco może poprawić warunki pracy układu (widać to na przykładzie porównania temperatur zastosowanej

przetwornicy pomiędzy układem bazowym A oraz układem F w którym zminimalizowano pętlę wejściową układu) w takim przypadku uzyskuje się zmniejszenie temperatury na przetwornicy rzędu 15° oraz zmniejszenie temperatury powierzchni całej płytki rzędu 10°. Równocześnie wyraźnie widać na przykładzie rysunku 7, że jakiegokolwiek prowadzenie długich ścieżek pomiędzy komponentami układu prowadzi do znaczącego wzrostu temperatury oraz może prowadzić do przeciążenia prądowego danej ścieżki dla jej pracy długotrwałej. Przeprowadzone badania wskazują, że w przypadku pracy długotrwałej przy pełnej mocy pobieranej (3 A) należy się liczyć z termicznym uszkodzeniem układu przetwornicy niezależnie od wersji mozaiki obwodu drukowanego włącznie z topologią zalecaną przez producenta. Zrealizowane układy wskazują, iż układ powinien być przeznaczony do pracy przy obciążeniach do 2 A i temperaturach otoczenia do 55 °C. Równocześnie widać, iż niewielkie zmiany w topologii rozmieszczania elementów mogą mieć krytyczny wpływ na nagrzewanie się całego układu.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Pietrzak A., Galla S.: Wpływ zmian rozmieszczenia elementów na emisje przewodową przetwornicy ST1SPUR Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 36 Gdańsk 2013 str. 153 – 157.
2. Dostęp 05 marca 2014 z sieci uczelnianej w Internecie: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00169322.pdf>.
3. Minkina, W., Dudzik, S. Infrared thermography – errors and uncertainties. John Wiley&Sons Ltd, Chichester (2009), ISBN: 978-04-707471-8-6 .
4. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania. PAK Warszawa (2011), ISBN: 978-83-926319-7-2.
5. Galla S.: Wykorzystanie termowizji w badaniach odporności. Przegląd Elektrotechniczny, R. 88, Nr 2/2012, s. 36-38
6. Dostęp 12 grudnia 2013 z sieci uczelnianej w Internecie: <http://www.vigo.com.pl/produkty/kamery-termograficzne/vigocam-v50>.

EFFECT OF PLACEMENT OF THE ELEMENTS OF ST1S10PUR INVERTER ON THE TEMPERATURE EMISSION

Key words: power supply, thermography, layout

The paper presents the results of measurements performed on different thermographic system version of the DC / DC converter based on ST1S10PUR component. Based on the obtained thermograms has been estimated potential ability to use the particular solution and maximum efficiency of the ST1S10PUR has been estimated.