

WPLYW ZMIAN ROZMIESZCZENIA ELEMENTÓW NA EMISJĘ PRZEWODOWĄ PRZETWORNICY ST1S10PUR

Andrzej PIETRZAK¹, Stanisław GALLA²

1. Miejsce pracy
Kainos Software Polska
tel: 502-577-666
e-mail: andrzej.pietrzak5@gmail.com
2. Miejsce pracy
Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska
tel: (58) 347 21 40 fax: (58) 341 61 32 e-mail: galla@eti.pg.gda.

Streszczenie: W referacie przedstawiono wpływ zmian w topologii (rozłożeniu elementów) przetwornicy ST1S10PUR o topologii typu Buck na emisję zaburzeń przewodowych. Wpływ był analizowany na przykładzie wprowadzania drobnych zmian w rozkładzie ścieżek mozaiki połączeń układu przy zastosowaniu we wszystkich rozpatrywanych konfiguracjach tych samych komponentów. Zastosowane zmiany w topologii połączeń pozwalają na oszacowanie ich wpływu na charakterystyki emisji przewodzonej oraz na sformułowanie zaleceń pozwalających na ich minimalizację.

Słowa kluczowe: rozmieszczenie ścieżek, zaburzenia.

1. WPROWADZENIE

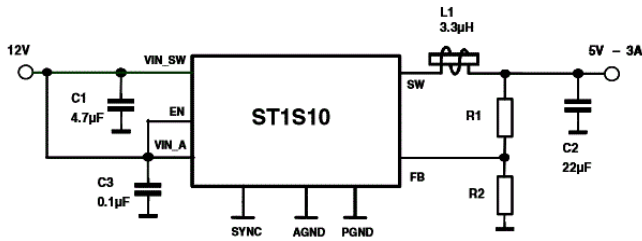
Głównym źródłem zakłóceń przewodowych, emitowanych przez urządzenia elektroniczne, są różnego typu układy zasilające oparte w głównej mierze o konwertery mocy o pracy impulsowej (tzw. z ang. Switched - Mode Power Supply). Układy te ze względu na sposób swojego działania (wysoką częstotliwość pracy) pozwalają na miniaturyzację, głównie poprzez możliwość stosowania mniejszych transformatorów. Dodatkowo sprawność takich układów jest większa, w porównaniu do układów o pracy ciągłej. Związane jest to głównie z brakiem elementów stratnych w torach. W przypadku przetwornic impulsowych mamy do czynienia z tzw. sterowanymi kluczami elektronicznymi. Stosowanie takiego rozwiązania wiąże się niestety ze znacznym wzrostem zaburzeń przewodzonych, emitowanych w torze zasilania, w stosunku do układów o pracy ciągłej [1]. Znaczne zwiększenie poziomów emisji zaburzeń wymaga podjęcia dodatkowych działań zapobiegawczych już na etapie projektowania oraz testowania układów elektronicznych. Spowodowane jest to, nie tylko koniecznością osiągnięcia zgodności z normami, lecz także zapewnieniem poprawnej pracy systemu elektronicznego. W ramach jednego projektu często wymagane jest obecnie dostarczenie różnych napięć zasilających, dla różnych podsystemów. Najczęściej realizowane jest to lokalnie, przez przejście z jednego

napięcia pracy przeznaczonego dla reszty systemu na napięcie specyficzne dla danego bloku. Lokalna konwersja pozwala na przesyłanie tej samej mocy z wykorzystaniem mniejszych prądów. Związane jest to bezpośrednio z zmniejszonymi stratami cieplnymi, oraz redukcją występujących spadków napięcia, a także wpływa znacząco na emisję elektromagnetyczną. Wymaga to jednak od projektanta zapewnienie niskiego poziomu zaburzeń emitowanych przez lokalną przetwornicę, tak by nie zaburzała pracy innych bloków. Działania takie są podejmowane głównie za pomocą filtracji, jednakże ze względu na wysoką częstotliwość pracy układów impulsowych, przekraczającą obecnie 1 MHz, pojawia się konieczność uwzględnienia fizycznego rozkładu komponentów i ich wzajemnych połączeń na powierzchni płytki drukowanej. W niniejszej pracy przedstawiono wpływ zmian wprowadzanych w mozaice połączeń na emisję zaburzeń przewodzonych w paśmie od 150 kHz do 30 MHz.

2. PRZETWORNICA ST1S10 A PROBLEMY KONSTRUKCYJNE ZWIĄZANE Z EMC

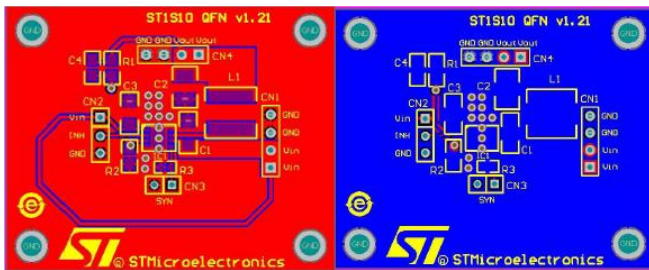
Badany układ przetwornicy typu ST1S10 firmy ST Microelectronics jest monolityczną, w pełni scaloną przetwornicą typu Buck. Pozwala ona na uzyskanie napięć w zakresie od 0,8 V do 85% napięcia zasilania przy obciążeniach do 3 A, przy napięciu zasilania między 2,5 V do 18 V. Charakteryzuje się ona sprawnością 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]. Przetwornica pracuje domyślnie z częstotliwością około 900 kHz, jednak istnieje możliwość sterowania jej zewnętrznym sygnałem z zakresu pomiędzy 400 kHz a 1,2 MHz. W takim przypadku wewnętrzna częstotliwość przełączania dostosowana jest do zewnętrznej częstotliwości sterującej.

Konwerter wyposażony jest także w układ soft – startu i wejście sterujące INHIBIT(EN) wyłączające przetwornice przy podanym na nim sygnale o poziomie niskim. W układzie zaimplementowano także dwa niezależne mechanizmy ochrony przeciwzwarciowej oraz zabezpieczenie termiczne [2]. Podstawowy schemat aplikacyjny przy konwersji napięcia zasilającego $U_{in} = 12\text{ V}$ na $U_{out} = 5\text{ V}$ pokazano na rysunku 1.



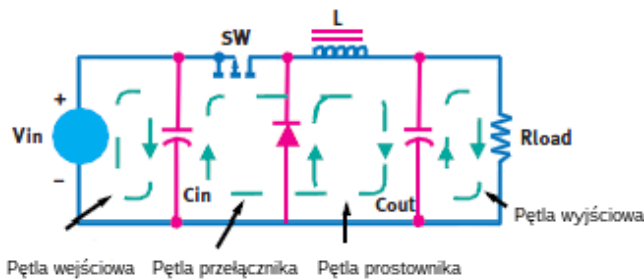
Rys. 1. Schemat aplikacyjny przetwornicy ST1S10 [2]

Na rysunku 2 przedstawiono zalecany układ ścieżek dla obu warstw (Top – kolor czerwony, Bottom – kolor niebieski)



Rys. 2. Zalecany schemat rozkładu ścieżek dla przetwornicy ST1S10 [2]

W przypadku konwerterów impulsowych o niezolowanym wyjściu (Buck), niezależnie od tego czy stosowany jest synchronicznie pracujący zestaw kluczy tranzystorowych, czy jeden z kluczy zrealizowany jest w formie diody, można zasadniczo wydzielić cztery pętle prądowe przedstawione na rysunku 3 [4], [5]:



Rys. 3. Schemat pętli w przetwornicach typu BUCK [1]

Pętla wejściowa utworzona jest między źródłem i kondensatorem umieszczonym równolegle między wejściem przetwornicy a masą. Kondensator zachowuje się jako chwilowe źródło ładunku dla prądu włączenia. Razem z indukcyjnością ścieżki łączącej go ze źródłem traktowany może być więc jako dolnoprzepustowy filtr LC, bądź jako konwencjonalne „odsprężenie” składowych zmiennych. Podobnie sytuacja ma się gdy spojrzeć na te strukturę od strony przełącznika. Oznacza to, że kondensator powinien być fizycznie blisko umieszczony przy elemencie

przełączającym, tak by nie zostawał „ominięty” przez zaburzenia wysokich częstotliwości [2]. Sugerowane jest także użycie kilku równoległych kondensatorów różnych rzędów wartości celu poprawienia filtracji. Zaleca się, aby pętla wejściowa była minimalna. Nierzadko w celu poprawienia charakterystyk emisji stosuje się dławik ferrytowy. W rzeczywistym układzie problem ten dotyczy także pętli wejściowej tworzonej przez doprowadzenie zasilania. W pętli przełącznika i prostownika, z racji obecności szybkozmiennego przebiegu między wyjściem układu kluczującego a cewką, należy się spodziewać łatwego przenikania tego sygnału do sąsiednich linii na skutek pasożytniczych sprzężeń, głównie indukcyjnych ze względu na duże wartości prądów, ale także i pojemnościowych. Ścieżka ta posiada określoną impedancję zależną od jej wymiarów i jest źródłem zarówno emisji zaburzeń jak i emisji termicznej. Minimalizacja powierzchni tych pętli przez umieszczenie elementów blisko siebie i łączenie ich krótkimi odcinkami może niestety powodować problemy z odprowadzaniem ciepła. W szczególności jednakże należy odsunąć od siebie pętlę wejściową od pętli przełącznika/prostownika tak, by minimalizować przenikanie szybkozmiennego sygnału bezpośrednio na wejście. Dodatkowo często stosowanym rozwiązaniem jest filtracja sygnału między wyjściem klucza a indukcyjnością przez układ typu „snubber”, zbudowane z szeregowo połączonego rezystora i kondensatora, należy zwrócić uwagę, że taki układ obniża sprawność przetwarzania. Pętla wyjściowa, utworzona przez obciążenie i wyjściową pojemność właściwego układu, zmodyfikowana może być przez wprowadzenie dodatkowej filtracji w formie dławików.

3. BADANE UKŁADY

3.1. Wykonane płytki z zmianami w topologii rozkładu ścieżek

Wykonano projekty płytek w programie EAGLE na podstawie noty aplikacyjnej ST1S10 (rysunek 1) będącej układem wyjściowym i oznaczonym jako projekt A. Wykonano go z dbałością o zachowanie proponowanych wymiarów oraz rozłożenia elementów zasugerowane przez producenta. Następnie w projekcie wprowadzono zmiany w rozkładzie ścieżek mające za zadanie zobrazowanie wpływ ich rozmieszczenia na zaburzenia przewodzone wprowadzane do zasilania. Płytki wykonano uwzględniając następujące zmiany w topologii mozaiki ścieżek:

Projekt B – nastąpiło zwiększenie pętli prostownika przez odsunięcie cewki, powoduje to zwiększenie wymiarów pętli prostownika.

Projekt C – nastąpiło usunięcie płaszczyzny masy spod cewki.

Projekt D – nastąpiło zwiększenie długości sprzężenia z wejściem przez wydłużenie połączenia ST1S10-indukcyjność, zwiększenie pętli prostownika.

Projekt E – nastąpiła próba zmniejszenia pętli prostownika przez obrót kondensatora bez przesuwania innych elementów.

Projekt F – nastąpiło zmniejszenie pętli wejściowej.

Projekt G – nastąpiło zmniejszenie pętli wejściowej i zwiększenie pętli prostownika.

Projekt H – nastąpiło zmniejszenie pętli wejściowej, zwiększenie pętli prostownika, ale w mniejszym stopniu (poprawa przez obrót kondensatora wyjściowego).

3.2. Pomiary układów

Po wykonaniu płytek wykonano pomiary w stanie jałowym (przy braku obciążenia) oraz przy obciążeniu wynoszącym $R = 3,35 \Omega$, zrealizowanym jako połączenie szeregowo trzech rezystorów $1,0 \Omega$. Przy napięciu wyjściowym wynoszącym $U_{out} = 5,2 \text{ V}$ prąd wyjściowy wynosił $I_{out} = 1,55 \text{ A}$, co stanowi w przybliżeniu połowę maksymalnego prądu pracy przetwornicy (moc wyjściowa $P_{out} = 8 \text{ W}$). W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów częstotliwości podstawowych pracy poszczególnych przetwornic w zrealizowanych układach A – H.

Tabela 1. Częstotliwość pracy przetwornic

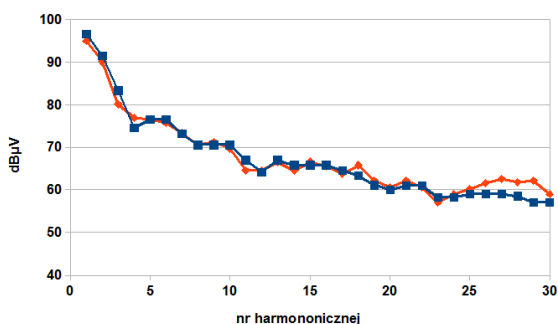
| Układ: | A | B | C | D | E | F | G | H |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | kHz | kHz | kHz | kHz | kHz | kHz | kHz | kHz |
| Bieg jałowy | 860 | 983 | 913 | 970 | 895 | 880 | 870 | 917 |
| I_{out} | 870 | 980 | 880 | 880 | 940 | 917 | 905 | 930 |

3.3. Pomiary emisji przewodowej

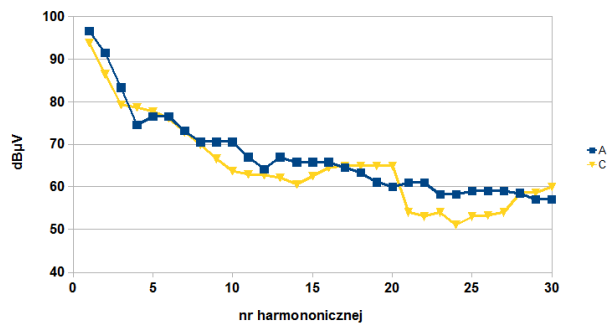
Pomiary emisji zaburzeń przewodzonych polegają na pomiarze i analizie widma napięcia na zaciskach zasilania działającego układu. W celu uniezależnienia wyników pomiaru od warunków zewnętrznych wymagane jest dołączenie między przewody zasilające, a badany układ tzw. sieci sztucznej. W układzie pomiarowym sieci sztuczne spełniają trzy podstawowe funkcje [3], [4]:

- stabilizują impedancje dołączonych obwodów,
- dopasowują impedancje widziane od strony badanych układów do impedancji przyrządów pomiarowych,
- stanowią separację od zakłóceń emitowanych przez zewnętrzne źródła zaburzeń.

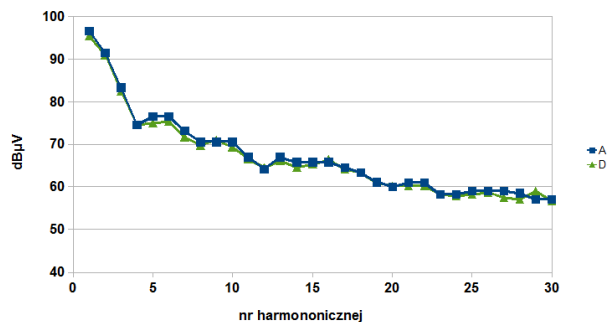
Pomiary przetwornic realizowano w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz. Na załączonych rysunkach przedstawiono poszczególne wartości harmonicznych składowej podstawowej układu w odniesieniu do układu zalecanego do realizacji (układ A).



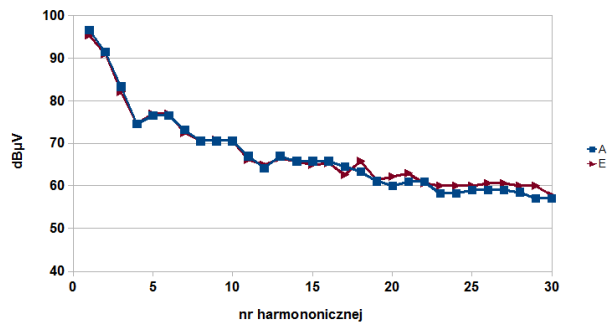
Rys. 4. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i B



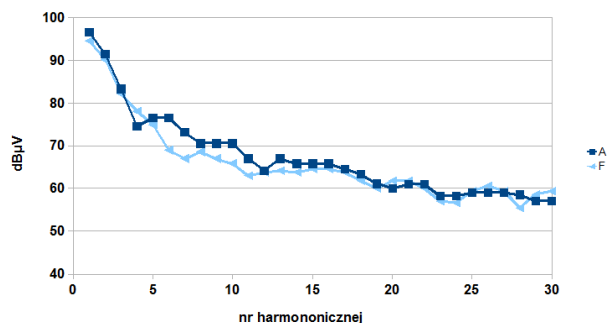
Rys. 5. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i C



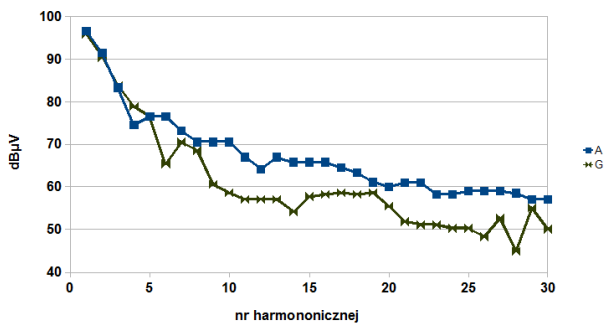
Rys. 6. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i D



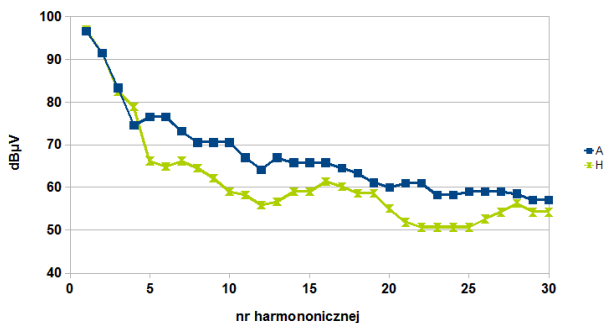
Rys. 7. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i E



Rys. 8. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i F



Rys. 9. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i G



Rys. 10. Porównanie wyniku pomiaru dla układu A i H

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W ramach projektu, bazując na układzie ST1S10 firmy STmicroelectronics, będącym implementacją klucza synchronicznego dedykowanego do pracy z przetwornicą o topologii typu Buck, wykonano projekty, zmontowano, uruchomiono oraz pomierzono zakłócenia przewodowe dla ośmiu wariantów topologii układu badanego zasilacza.

Różnice między projektami dobrano tak, aby umożliwić jakościową ocenę wpływu konkretnej zmiany w topologii na charakterystyki emisji przewodzonej.

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ wywierany przez wymiary pętli prądowych, sprzężenia

między liniami oraz odsunięcie źródeł zakłóceń od potencjalnie wrażliwych części układu (projekty G i H). Ustalono, że przy projektowaniu przetwornic DC/DC o pracy impulsowej zalecanym będzie minimalizowanie pętli wejściowych takiego układu, także dla wyprowadzeń będących tylko zasilaniem części sterującej. Wyniki badań potwierdziły zmianę emisyjności w zakresie 150 kHz - 30 MHz przy wykonaniu przerwy w płaszczyźnie masy pod indukcyjnością (projekt C), jednak uzyskany wynik nie jest jednoznaczny. Skuteczną poprawę ilości zaburzeń przewodzonych uzyskano dzięki odsunięciu elementu indukcyjnego od pętli wejściowej. Zalecanym także będzie stosowanie takich układów, w których rozmieszczenie wyprowadzeń umożliwiać będzie skuteczną separację pętli wejściowej od pętli wyjściowej bez niepotrzebnego zwiększania wymiarów samych pętli, w ramach tej samej rodziny, układów oferuje przetwornice ST1S30, w której wyprowadzenia te zrealizowano po różnych stronach obudowy.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Andrzej Pietrzak A., „Wykonania zasilacza DC/DC o zmniejszonej emisyjności zaburzeń przewodowych w oparciu o przetwornicę” Praca inżynierska, PG WETiI 2012 r
2. Dostęp 07 czerwca 2013 z sieci uczelnianej w Internecie: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00170192.pdf?s_searchtype=keyword.
3. Zakłócenia w aparaturze elektronicznej”, Radioelektronik sp. z o. o., Warszawa 1995, ISBN 83-858910-1-3.
4. Ruszel P., „Kompatybilność elektromagnetyczna elektronicznych urządzeń pomiarowych”, Oficyna Wydawnicza Politechnik Wrocławskiej, Wrocław 2008, ISBN 978-83-7493-423-7.
5. Morgan D. „A handbook for EMC testing and measurement”, The Institution on Engineering and Technology, London 2007, ISBN 978-0-86341-756-6

INFLUENCE OF ELEMENTS` REARRANGEMENT CHANGES ON THE ISSUE OF CONVERTER ST1S10PUR CONDUCTED EMISION

Key words: EMC, distortion, layout

ABSTRACT:

This paper presents the impact of topology changes (distribution of elements) in ST1S10 converter with topology type the Buck on the wired disorders emissions. The influence was analyzed on the example of implementing minor changes in the distribution system of wiring mosaic paths with the use of all considered configurations of the same components. Applied changes in the connections topology allow to estimate their influence on the conducted emissions characteristics and to formulate recommendations allowing minimalisation of wire disturbance emission of the considered converter.