

Gliwice, dn. 22.07.2019r.

Dr hab. inż. Marcin Kasprzak, prof. PŚ.
Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
ul.B.Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Harasimczuka

pt. **„Nieizolowane quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie
z dławikami dzielonymi”**

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej

dr hab. inż. Mirosława Świercza, prof. PB

(pismo nr: WE-300.4130.5.2019 z dnia 29 maja 2019).

1. Wprowadzenie

Przedmiotem rozprawy są quasi-rezonansowe (Q-R) przekształtniki podwyższające napięcie stałe. Są to przekształtniki w których rezonans ma miejsce jedynie w części cyklu pracy przekształtnika, najczęściej w czasie załączenia lub wyłączenia któregoś z tranzystorów układu. Szczególnym rodzajem układów quasi-rezonansowych są układy z łącznikami rezonansowymi (ang. resonant switch converter), w których obwód rezonansowy LC jest w taki sposób połączony z tranzystorem, że dominującymi są przełączenia przy zerowym napięciu (ZVS) lub przy zerowym prądzie (ZCS). Układy z łącznikami rezonansowymi charakteryzują się tym, że tranzystor przełączany jest ze stałym czasem załączenia (dla ZCS) lub wyłączenia (dla ZVS), natomiast wzmocnienie napięciowe ustalane jest częstotliwością przełączania tranzystora. W układach tych zysk na sprawności energetycznej będący efektem miękkiego przełączania tranzystorów (ZVS, ZCS) jest nieco niwelowany zwiększonymi stratami przewodzenia związanymi z przepływem prądów rezonansowych.

Tematyka pracy wynika z potrzeby przeprowadzenia systematycznych badań nowych przekształtników DC/DC o dużym wzmocnieniu, które stosowane są np. w instalacjach z panelami fotowoltaicznymi (PV) lub z ogniwami paliwowymi, w szczególności do podniesienia niskiego napięcia z PV do poziomu wymaganego przez falownik sieciowy.

Autor rozprawy najpierw przeanalizował pewne znane rozwiązania przekształtników Q-R, ZCS i ZVS, podwyższających napięcie. Następnie przeanalizował i usystematyzował nieizolowane przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi. Obie przeprowadzone analizy stanowiły wprowadzenie do zasadniczego przedmiotu pracy, tj. nowych rozwiązań przekształtników z dławikami dzielonymi w których zastosowano łączniki rezonansowe typu ZCS lub ZVS – są to rozwiązania które Autor zaproponował i opatentował.

Przekształtniki rezonansowe są jednym z obszarów działań naukowo-badawczych prowadzonych od lat i nadal rozwijanych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej i w omawianym obszarze Wydział uznawany jest za znaczący ośrodek naukowo-badawczy w kraju i na świecie. Warto w tym kontekście podkreślić, że recenzowana praca jest więc kontynuacją tematyki przekształtników rezonansowych i swego rodzaju promocją przekształtników Q-R, DC/DC, które jak pisze Autor, nie znalazły szerokiego zastosowania w rozwiązaniach komercyjnych. Przyczyną tego może być brak informacji o zaletach i wadach przekształtników, o celowości ich stosowania oraz brak odpowiedzi na pytanie, czy zastąpienie dotychczasowych urządzeń nowymi przyniesie wymierne efekty.

2. Strona formalna rozprawy

Rozprawa została zawarta w 4 rozbudowanych rozdziałach, zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń, 2 podrozdziały z dodatkami, wykaz literatury oraz streszczenie w języku angielskim (abstract). Ujęto ją na 115 stronach. Zawiera ok. 50 rysunków i ok. 220 wzorów/zależności. Ma ona wszystkie istotne elementy rozprawy naukowej, a mianowicie:

- motywację, którą Autor pracy ujmuję, jako „brak w literaturze wnikliwego opracowania poświęconego quasi-rezonansowym nieizolowanym przekształtnikom DC/DC podwyższającym z dławikami dzielonymi zasilanymi ze źródeł o niskim napięciu.”
- cel, tezę pracy i metody badawcze które przedstawiono w rozdziale 1.6,
- obszernie wyniki własnych badań nowych, opracowanych w ramach rozprawy przekształtników Q-R, DC/DC z dławikami dzielonymi, które Autor analizował teoretycznie i badał laboratoryjnie, oraz
- wnioski.

Praca zawiera wykaz literatury obejmujący 68 pozycji ułożonych w kolejności cytowania, w tym 10 pozycji Autora pracy i jest on reprezentatywny dla tematu rozprawy, a recenzentowi nie jest znane opracowanie takie, jakie stanowi rozprawa.

3. Przedmiot, cel i teza rozprawy

Jak wspomniano wcześniej, przedmiotem rozprawy są innowacyjne quasi-rezonansowe nieizolowane przekształtniki DC/DC podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi. W układach tych obwód rezonansowy LC jest w taki sposób połączony z tranzystorem, że dominującymi są przełączenia przy zerowym napięciu (ZVS) lub przy zerowym prądzie (ZCS). Autor rozprawy podjął się rozwiązania problemów naukowych oraz projektowo-konstrukcyjnych z dziedziny elektrotechniki z obszaru energoelektroniki, a zwłaszcza związanych z przekształtnikami DC/DC z łącznikami rezonansowymi.

Tezę rozprawy ujęto następująco: „*W nieizolowanych quasi-rezonansowych przekształtnikach DC/DC podwyższających napięcie z dławikami dzielonymi możliwe jest osiągnięcie: wysokiej sprawności energetycznej, wymaganego współczynnika transformacji napięcia stałego, pracy przy wysokiej częstotliwości łączeń*”.

Stawiając powyższą tezę, Doktorant wytyczył cel pracy, który sformułował następująco: „*Zbadanie możliwości zmniejszenia strat w procesie przekształcania energii, osiągnięcia wysokiej sprawności energetycznej, wysokiego współczynnika transformacji napięcia stałego oraz pracy przy wysokiej częstotliwości łączeń w innowacyjnych nieizolowanych quasi-rezonansowych przekształtnikach DC/DC podwyższających z dławikami dzielonymi*”.

Jest istotne, że Autor pracy zaplanował osiągnięcie celu pracy oraz wykazanie poprawności przyjętej tezy pracy przez odpowiednią metodykę i realizację następujących zadań badawczych (rozdział 1.6), które w skrócie są następujące:

- sformułowanie założeń oraz opracowanie modeli matematycznych przekształtników,
- znalezienie zależności opisujących charakterystyki sterowania przekształtników,
- weryfikacja eksperymentalna rozważań teoretycznych, obliczeń i symulacji numerycznych,
- opracowanie, dyskusja, analiza porównawcza oraz generalna konkluzja będąca wynikiem rozważań teoretycznych i badań eksperymentalnych przekształtników.

Uważam, że teza pracy, cel oraz zadania badawcze zostały co prawda poprawnie sformułowane, to jednak postawione wymagania są bardzo ogólne, np. co oznacza wysoka sprawność energetyczna ($\eta > ?\%$), co oznacza wymagany współczynnik transformacji napięcia ($k_u > ?$), co oznacza wysoka częstotliwość łączeń ($f > ?$ kHz).

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozdz. Wprowadzenie

Rozdział jest zwięzły, ma tylko 3 strony i w początkowej części zawiera rozważania dotyczące przekształtników twardo przełączalnych, w szczególności dotyczące strat łączeniowych w półprzewodnikowych przyrządach mocy. Autor stwierdza, że ograniczenie tych strat jest możliwe m.in. przez zastosowanie tranzystorów o szerokim paśmie zabronionym, które wykonano na bazie węgla krzemu lub azotku galu. W dalszej części Autor omawia grupę przekształtników będących przedmiotem projektu, a więc miętkko przełączanych, quasi-rezonansowych, DC/DC, typu ZCS i ZVS. Następnie Doktorant podaje motywację do podjęcia tematyki, ujmując ją następująco:

- „brak w literaturze wnikliwego opracowania poświęconego quasi-rezonansowym nieizolowanym przekształtnikom DC/DC podwyższającym z dławikami dzielonymi zasilanymi ze źródeł o niskim napięciu”
- braku informacji o zaletach i wadach ww. przekształtników powoduje, że nie znalazły one szerokiego zastosowania w rozwiązaniach komercyjnych.

Rozdział ten jest wystarczającym wprowadzeniem do tematyki pracy. W treści znajduje się jednak kilka autorytatywnych stwierdzeń, które nie są poparte powołaniami na literaturę, np. dotyczącymi emisji zaburzeń elektromagnetycznych w przekształtnikach twardo przełączalnych (str.7, w.25-33).

Rozdz. 1. Ocena stanu badań i osiągnięć naukowych

W rozdziale tym Doktorant najpierw opisał i przeanalizował 3 podstawowe przekształtniki twardo przełączalne DC/DC podwyższające napięcie: typu boost, zaporowy (izolowany) oraz z dzielonym dławikiem. Przekształtniki te porównał ze względu na współczynniki transformacji napięcia oraz sprawność w oparciu o modele przekształtników uwzględniające rezystancje pasożytnicze. W kolejnym kroku Doktorant przeanalizował znane rozwiązania przekształtników Q-R podwyższających napięcie, ZCS i ZVS, dla cało- i półfalowego charakteru pracy, również porównując je ze względu na współczynniki transformacji napięcia. Następnie przeanalizował i usystematyzował nieizolowane przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi, których parametry konstrukcyjne i energetyczne czytelnie zestawiał w dwóch tabelach (tab.1.3 i 1.4). Przeprowadzone analizy pozwoliły na sformułowanie tezy i zakresu pracy (rozdz.1.6) oraz wprowadziły czytelnika do zasadniczego przedmiotu pracy, tj. nowych rozwiązań przekształtników DC/DC podwyższających napięcie, z dławikami dzielonymi, w których zastosowano łączniki rezonansowe typu ZCS lub ZVS – są to rozwiązania które Autor zaproponował i opatentował a ich szczegółowa analiza jest treścią kolejnego rozdziału.

Treść niniejszego rozdziału jest jednocześnie przeglądem literatury, powołano się w nim na ok. 45 pozycji literaturowych. Chociaż wyniki i analizy prezentowane w rozdziale nie są nowatorskie, to Autor stworzył bardzo dobrze usystematyzowaną bazę wiedzy nt. przekształtników DC/DC, z dławikami dzielonymi i Q-R, zawierającą schematy, opisy działania z przebiegami czasowymi, podstawowe zależności, w tym na wzmocnienie i sprawność. Jest to bardzo dobrze opracowana część wprowadzająca w zasadniczy temat pracy.

Jednocześnie Autor nie ustrzegł się pewnych sformułowań i błędów do których odnosi się w uwagach dyskusyjnych i szczegółowych. Przykładowo, trzy z podrozdziałów kończą się identycznym wnioskiem odnośnie sprawności (str.14, 16, 19): *”Straty mocy w przekształtniku rosną wraz ze wzrostem rezystancji pasożytniczych poszczególnych elementów układu”* który to wniosek jest oczywisty i raczej nie powinien być podsumowaniem skomplikowanych wprowadzeń zależności na sprawności przekształtników.

Rozdz. 2. Quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi i przełączaniem przy zerowym prądzie

W rozdziale omówiono quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi przełączane przy zerowym prądzie. Są to nowe układy po raz pierwszy opisane i opatentowane przez Doktoranta. Układy te powstały z połączenia przekształtnika z dławikiem dzielonym z łącznikami Q-R. Opisano dwa typy tych układów: najpierw jednotranzystorowy ZCS sterowany ze stałym czasem załączenia, następnie dwutranzystorowy ZCS sterowany metodą PWM. Każdy z tych układów opisano według jednolitego, poprawnego i czytelnego szablonu: analiza pracy w poszczególnych przedziałach czasowych z odwołaniem do schematów zastępczych, wyznaczenie współczynnika transformacji napięcia i jego wykres, sposób doboru elementów rezonansowych zapewniający przełączanie ZCS w możliwie szerokim zakresie obciążenia. Dla układu dwutranzystorowego przeprowadzono najpierw symulacje komputerowe (PSpice) a następnie zaprojektowano układ laboratoryjny o mocy ok. 1 kW, który przebadano. Wyniki pomiarów oscyloskopowych są zgodne z wyznaczonymi teoretycznie i na drodze symulacji. Zmierzone sprawności mieszczą się w przedziale (93-95)% i są nieco niższe niż obliczone teoretycznie, co Autor uzasadnił nieuwzględnieniem rezystancji pasożytniczych podzespołów w zależnościach na sprawność.

Treść zawarta w rozdziale jest bardzo dobrze uporządkowana, dobrze się czyta i analizuje opisy działania i przebiegi czasowe. Pomimo wielu zależności teoretycznych/równań Autor podał te najważniejsze unikając zbędnych, na pewno złożonych wyprowadzeń.

Jedyne zastrzeżenia jakie mam, to brak przebiegów czasowych napięcia tranzystora(ów) w analizie teoretycznej (rys. 2.1b, rys.2.4b) i symulacyjnej (rys. 2.8). Przebieg ten pojawia się jedynie na oscylogramach z rys. 2.9c-f. Jest to o tyle istotne, że przebieg czasowy napięcia tranzystora wraz z przebiegiem jego prądu umożliwiają pełną analizę prądowo-napięciowych warunków przełączania tranzystora, nie ograniczając się do uproszczeń jak „przełączanie ZCS”. W związku z powyższym, w uwagach dyskusyjnych ta kwestia zostanie podniesiona.

Rozdz. 3. Quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi i przełączaniem przy zerowym napięciu

Układ rozdziału jest bardzo zbliżony do rozdziału 2, tyle że dotyczy przekształtników Q-R, DC/DC z przełączaniem przy zerowym napięciu. Podobnie jak w poprzednim rozdziale opisano dwa typy tych układów: najpierw jednotranzystorowy ZVS sterowany ze stałym czasem wyłączenia, następnie dwutranzystorowy ZVS sterowany metodą PWM. Ponownie zastosowano czytelny szablon opisu: analiza w przedziałach czasowych z odwołaniem do schematów zastępczych, wyznaczenie współczynnika transformacji napięcia i jego wykres, projekt obwodu rezonansowego. W tym przypadku dla obu typów przekształtników zaprojektowano, wykonano i przebadano modele laboratoryjne, których właściwości omówiono poniżej.

Dla przekształtnika jednotranzystorowego ZVS o mocy wyjściowej ok. 100 W zmierzone sprawności mieszczą się w przedziale (93,5-97,1)% i maleją wraz ze wzrostem wzmocnienia napięciowego k_u . Uzyskano również bardzo dobrej jakości oscylogramy napięć/prądów, w szczególności napięcia na tranzystorze, którego kształt nie wykazuje oscylacji w obrębie procesów przełączania.

Dla układu dwutranzystorowego o mocy wyjściowej ok. 300 W zmierzone sprawności mieszczą się w przedziale (91,3-94,1)% i maleją wraz ze wzrostem wzmocnienia napięciowego k_u . Układ ten wg Autora osiąga lepsze parametry energetyczne w stosunku do układu z jednym tranzystorem a pewne parametry pracy są mało zależne od rezystancji obciążenia. Zarejestrowane oscylogramy poprawnie skomentowano.

Przedstawione w rozdziale wyniki wystarczająco i poprawnie odzwierciedlają podstawowe właściwości obu przekształtników. Jediną moją wątpliwość budzi porównanie sprawności na

podstawie pomiarów w przypadku gdy były to układy o różnych mocach wyjściowych (ok. 100 W i ok. 300 W). Porównanie powinno być wykonane dla takich samych wartości napięć wejściowego i wyjściowego, rezystancji i mocy wyjściowej oraz możliwie jednakowych częstotliwości pracy.

Rozdz. 4. Quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie z dławikiem dzielonym i przełączanym kondensatorem

W rozdziale opisano przekształtnik podwyższający napięcie z dławikiem dzielonym, pasywnym, quasi-rezonansowym układem odciażającym oraz z przełączanym kondensatorem. Tranzystor wyłączany jest przy zerowym napięciu ZVS. Dwie z diod oraz kondensator szeregowy z dzielonym dławikiem tworzą powielacz napięcia, który umożliwia uzyskanie wyższego niż w przypadku przekształtników omówionych w rozdziałach 2 i 3 współczynnika transformacji napięcia.

Układ ten jest trafną modyfikacją znanego z literatury układu dokonaną przez Doktoranta, a różnica polega na rezonansowym przeładowaniu kondensatora, który w pierwotnym układzie miał dużą pojemność uniemożliwiając przełączanie ZVS tranzystora.

Ponownie zastosowano czytelny szablon opisu przekształtnika (przebiegi czasowe, k_u , ...), a co najważniejsze wykonano i przebadano model laboratoryjny o mocy 300 W i napięciu wyjściowym 380 V. Umożliwiło to porównanie wartości napięć na komponentach i sprawności z wcześniejszymi układami. Przykładowo, maksymalna uzyskana sprawność wyniosła 95,4% co jest największą z wartości w porównaniu do uzyskanych we wcześniej badanych układach. Oscylogramy napięcia na tranzystorze potwierdzają wyłączanie ZVS tranzystora bez oscylacji w obrębie procesów przełączania.

Rozdz. Podsumowanie

Rozdział podsumowujący w pierwszej części zawiera zwięzłe streszczenie pracy a następnie bardzo istotne, tabelaryczne porównanie (tab. P1) wybranych wielkości oraz właściwości charakteryzujących opisane przekształtniki. W dalszej części wyczerpująco skomentowano właściwości poszczególnych przekształtników. Następnie Autor wyszczególnił własne, najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze. Dalsza część podsumowania to istotne wnioski końcowe (sposrzeżenia). Rozdział kończy propozycje dalszych badań i perspektywy zastosowania dla przekształtników quasi-rezonansowych.

Rozdz. Dodatek A i B

W części A zamieszczono schematy i rysunki obwodów drukowanych dwóch przekształtników przełączanych przy zerowym napięciu, ZVS-PWM. Dają one wystarczający pogląd na konstrukcję elektromechaniczną układu.

Zwracam jednak uwagę, że Autor oba podrozdziały nazwał identycznie a pary podpisów pod schematami (rys. A1 i A3) oraz pod PCB (rys. A2 i A4) są prawie identyczne. W każdym razie z opisów nie wynika, że drugi z układów ZVS-PWM jest układem z przełączanym kondensatorem.

W części B zamieszczono poprawny spis aparatury badawczej oraz zdjęcie stanowiska i układu sterowania. Mam zastrzeżenia do zdjęcia rys. B1 na którym nie widać badanego układu, brak jest oznaczeń najważniejszych przyrządów a to co widać to chaos przewodów i sond pomiarowych.

5. Ocena rozprawy

Tematyka rozprawy jest ściśle wbudowana we współczesne badania prowadzone w energoelektronice, a zwłaszcza w obszarze zaawansowanych przekształtników DC/DC, np. we współczesnej energetyce źródeł odnawialnych. W ujęciu ogólnym, uznaje się, że rozprawa obejmuje przede wszystkim opis znaczących osiągnięć konstrukcyjnych dotyczących nowych przekształtników DC/DC podwyższających napięcie, quasi-rezonansowych, które charakteryzują się niskostratnym przełączaniem tranzystorów, o sprawności do ok. 95%, oraz obejmuje rozwiązanie problemu naukowego w postaci opracowania metodologii i wyników badań porównawczych właściwości ww. przekształtników. Ponadto, przedstawione rezultaty i wyniki badań mają bardzo istotne znaczenie przy realizacjach praktycznych omawianych przekształtników, zwłaszcza w kontekście zastosowania w układach odnawialnych źródeł energii. W pracy doceniam to, że każdy z układów opisano według jednolitego, poprawnego i czytelnego szablonu: analiza pracy w poszczególnych przedziałach czasowych z odwołaniem do schematów zastępczych, wyznaczenie współczynnika transformacji napięcia i jego wykres, sposób doboru elementów rezonansowych zapewniających przełączanie ZCS/ZVS w możliwie szerokim zakresie obciążenia.

Do oryginalnych i najważniejszych rezultatów rozprawy zaliczam:

- opracowanie i opatentowanie autorskich topologii nieizolowanych quasi-rezonansowych przekształtników podwyższających DC/DC z dławikami dzielonymi,
- opis analityczny pięciu nowych topologii przekształtników quasi-rezonansowych, wyznaczenie zależności opisujących charakterystyki sterowania, opracowanie metod projektowania i doboru elementów obwodów rezonansowych,
- badania eksperymentalne i pozytywna weryfikacja laboratoryjna wyników teoretycznych jak wyżej, dotycząca czterech z pięciu nowych autorskich topologii,
- doprecyzowanie sposobu sterowania przekształtników ZCS-PWM i ZVS-PWM, które umożliwia zwiększenie zakresu mocy wyjściowej.

Podsumowując stwierdzam, że Doktorant na podstawie przeprowadzonych analiz teoretycznych oraz uzyskanych wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych, wykazał, że w nowoopracowanych, nieizolowanych quasi-rezonansowych przekształtnikach DC/DC podwyższających napięcie z dławikami dzielonymi możliwe jest osiągnięcie:

- sprawności energetycznej do ok. 95% dla mocy znamionowej
- współczynnika transformacji napięcia stałego co najmniej $k_u=10$ przy zachowaniu sprawności ok. (92-95)%,
- pracy przy częstotliwości łączeń do ok. 200 kHz i częstotliwości rezonansowej pomocniczego obwodu rezonansowego (330-520) kHz,
- objętościowej gęstości mocy wynoszącej ok. 1,4 kW/dm³.

a przez to wykazał słuszność postawionej tezy.

Ponadto, uznaje się, że podane w rozprawie wnioski końcowe są uzasadnione, rozprawa jest kompletna oraz zawiera opis istotnych osiągnięć konstrukcyjnych i nowe wyniki badań naukowych.

Ważniejsze uwagi dyskusyjne

Uwagi o charakterze ogólnym:

1. W pracy nazbyt często występują bardzo ogólne sformułowania, np. w tezie pracy (str.39): wysoka sprawność, wymagany współczynnik transformacji napięcia, wysoka częstotliwość łączeń. Podobnie (str.9): „Układy te charakteryzują się wysokim współczynnikiem transformacji napięcia i wysoką sprawnością przy stosunkowo dużej mocy wyjściowej”, i inne podobne.
Proszę podać jakie wartości ma Autor na myśli używając takich określeń.
2. Proszę skomentować zdanie (str.25, środek strony): „W przekształtniku przełączanym przy zerowym napięciu, kondensator rezonansowy C_r umieszczony równolegle z tranzystorem wpływa na sinusoidalną zmianę napięcia na tym tranzystorze”. Czy rzeczywiście sinusoidalna zmiana napięcia jest tu istotna? – proszę wyjaśnić.
3. Proszę wyjaśnić zależności (1.50) i (1.53) na współczynniki transformacji napięcia $k_{u(c)}$ dla przekształtników Q-R ZCS i ZVS. Obie te zależności po uproszczeniu sprowadzają się do takich samych postaci, natomiast wykresy $k_{u(c)}$ (rys.1.9 i rys.1.12) są zupełnie inne. Ponadto, skąd w końcowej uproszczonej zależności (1.53) wzięła się sprawność η której nie ma w zależności (1.50)?
4. W rozdziale 2 (ale również wcześniej) brak jest przebiegów czasowych napięć na tranzystorach w analizie teoretycznej (rys. 2.1b, rys.2.4b) i symulacyjnej (rys. 2.8). Przebieg napięcia na tranzystorze pojawia się jedynie na oscylogramach z rys. 2.9c-f. Dla każdego z przełączeń tranzystora (załączenie i wyłączenie) można podać wartość napięcia i prądu (parę U/I). Wobec powyższego, proszę o sprecyzowanie pary U/I dla każdego z dwóch przełączeń dla przekształtników opisanych w rozdz.2, posługując się np. przebiegami z programu PSpice. Dodatkowo, proszę przeanalizować warunki przełączania w kontekście zastosowania tranzystorów MOSFET jak w projekcie (IRFP...) których pojemność wyjściowa $C_{oss} \approx 1$ nF. Czy na tej podstawie można wyjaśnić oscylacje w napięciu tranzystorów po ich wyłączeniu widoczne na rysunkach 2.9e-f?
5. W rozdziale 2, str.61. Akapit: „Na rys. 2.9c-f zamieszczono przebiegi napięć u_{GS} , u_{DS} i prądów i_{Cr} , i_{Lr} tranzystorów przekształtnika. Tranzystory są załączane przy zerowym prądzie oraz wyłączane przy zerowym prądzie i zerowym napięciu (ang. zero current, zero voltage switching, ZCZVS). Przewodzenie diod zwrotnych tranzystorów zapewnia ich wyłączanie przy zerowym napięciu. Przepięcia na tranzystorach po ich wyłączeniu są spowodowane przejściowymi prądami wstecznymi w czasie odzyskiwania zdolności zaworowych diod zwrotnych tranzystorów”.
Moją wątpliwość budzi podkreślone zdanie, gdyż wg. mnie dioda zwrotna tranzystora nie przewodzi a wsteczny prąd tranzystora płynie przez otwarty kanał ponieważ: a) bramka tranzystora jest wysterowana, b) napięcie przewodzenia tranzystora jest za niskie by pokonać napięcie progowe diody zwrotnej ($R_{DS(on)}=8m\Omega$ a prąd drenu wynosi kilka Amperów, na oscylogramach widać, że wartość napięcia przewodzenia u_{DS} jest bliska zeru).
Proszę ustosunkować się do mojego przypuszczenia. Ponadto proszę spojrzeć na przyczynę oscylacji w napięciu tranzystora (ok. 6,6 MHz) w kontekście jego pojemności wyjściowej C_{oss} i innych podzespołów.
6. Zaprojektowane przekształtniki charakteryzują się różnymi mocami wyjściowymi: ok. 100 W, 300 W, 1 kW i prawdopodobnie projektował je Pan „na bieżąco” w trakcie pisania niniejszej pracy. Taka rozpiętość mocy tych przekształtników i częstotliwości przełączeń na pewno utrudniła obiektywne ich porównanie ze względu na sprawność, chociaż podjął Pan taką próbę w Podsumowaniu i Tab. P1. Proszę zaproponować, jak na bazie obecnych doświadczeń wykonałby Pan obiektywne porównanie sprawności opisanych w pracy

przekształtników: w jakim zakresie mocy, wzmocnienia, może w odniesieniu do obowiązujących norm określania sprawności np. przekształtników dla fotowoltaiki.

Uwagi szczegółowe (w kolejności występowania w rozprawie):

Nr strony	Nr wiersza lub rysunku	Uwagi
5	μ_0	powinno być – przenikalność magnetyczna próżni
7	w.5 od dołu	Oscylujące obwody rezonansowe...- raczej u/i w tych obwodach
19	w.4 pod tab.	Na rys. 1.4 i rys. 1.5- bez rys. 1.5
np. 20	2 dolne wiersze	momencie, momentu (ok. 12 razy w całej pracy) - powinno być „chwili czasu” lub „chwili”
21	w.1	... wymagają użycia stosunkowo dużego dławika sprzężonego ze szczeliną powietrzną gromadzącą energię – czy szczelina gromadzi energię ?
24	środek strony	... wymusza użycie rdzeni ze szczeliną powietrzną, w której jest gromadzona energia - czy szczelina gromadzi energię ?
25	w.7 od dołu	... lub odpowiedniego czasu <u>wyłączania</u> – powinno być wyłączenia
32, 33	rys.1.14 i 15	oba rysunki (rys.1.14 i rys.1.15) są identyczne
36	Tab. 1.4	Tytuł Tab.1.4. Zestawienie wybranych <u>fizycznych</u> parametrów przekształtników z dławikami sprzężonymi – to nie są parametry fizyczne, raczej energetyczne, ruchowe, ...
39	w.5	... zbadania nie w pełni znanych zjawisk <u>fizycznych</u> , poprawy ich istotnych cech... - czy Autor będzie badał cechy fizyczne przekształtników ?
45	pod (2.11)	powinno być: ...średnim prądem wyjściowym.
46	pod (2.16)	błąd w zależności na $f_r - 2\pi$ nie powinno być pod pierwiastkiem
60	rys.2.9e,f	na rys. e) jest ZCZVS natomiast na rys. f) jest ZVZCS – chyba chodzi o to samo i jest to błąd edytorski
61	w.1	Przebiegi <u>wykonano</u> – raczej zarejestrowano
63	w.3 pod (3.1)	...rozproszenia dławika
70	w.1 nad (3.4)	...współczynnik <u>transpozycji</u> napięcia ...raczej transformacji
76	w.3	...tranzystora omówionym w podrozdziale
76	w.5	... zwiększenie rezystancji wyjściowej ...
77	w.8 od dołu	... obliczenia współczynnika transformacji...
83	w.5	Zgodnie <u>z</u> przedłożonymi przebiegami ...
89	w.3 pod 4.17	Energia z dławika dzielonego oraz w kondensatora Cc
96	Tab. 4.3	Typ diody SiC w tabeli jest inny niż w tekście powyżej tabeli
104 105	Dodatek A	Nazwy dwóch podrozdziałów są identyczne, podobnie podpisy pod parami rysunków (rys. A1 i A3) oraz (rys. A2 i A4)

6. Wnioski

- Autor rozprawy wykazał się szeroką wiedzą z zakresu elektrotechniki, energoelektroniki, elektroniki oraz bardzo dobrym przygotowaniem do pracy badawczej i bardzo wysokimi umiejętnościami projektowymi i konstrukcyjno-technologicznymi.
- Uzyskane w rozprawie wyniki są znaczące i mogą być bardzo przydatne w zastosowaniach praktycznych oraz mają dużą wartość poznawczą.
- Uwagi krytyczne przedstawione w recenzji nie podważają pozytywnej oceny końcowej recenzowanej rozprawy doktorskiej.

WNIOSEK KOŃCOWY

Uważam, że rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Michała Harasimczuka pt. „Nieizolowane quasi-rezonansowe przekształtniki podwyższające napięcie z dławikami dzielonymi” stanowi samodzielne rozwiązanie ważnego i aktualnego zagadnienia naukowo-badawczego, zdecydowanie spełnia kryteria i wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w obowiązującej ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami. Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, z uwagi na całościowe opracowanie zagadnienia oraz pełen cykl badawczy obejmujący analizę teoretyczną, projekt i wykonanie przekształtników, symulacje numeryczne oraz weryfikujące badania laboratoryjne a ponadto ze względu na uzyskany patent, **wnoszę o wyróżnienie opiniowanej rozprawy.**



Marcin Kasprzak