


Zasilanie urządzeń elektronicznych (ZUE)

Cel przedmiotu:

Zapoznanie z podstawowymi parametrami, zasadami budowy i działania oraz projektowaniem nowoczesnych zasilaczy prądu stałego o pracy ciągłej (typu LDO) i impulsowej. Przedstawienie problemów układowych i realizacyjnych układów oraz systemów zasilania z uwzględnieniem zagadnienia zakłóceń i kompatybilności elektromagnetycznej. Omówienie przykładowych realizacji współczesnych zasilaczy urządzeń. Przedstawienie typowych struktur systemów zasilania.

- 📖 **Rodzaje i charakterystyka źródeł energii w układach zasilaczy (sieć energetyczna, źródła chemiczne, ogniwa słoneczne)**
- 📖 **Zasilacze prądu stałego o pracy ciągłej (z obniżonym spadkiem napięcia LDO) i impulsowej - ogólna zasada działania, zakresy zastosowań, poziom mocy wyjściowej, podstawowe właściwości i parametry.**
- 📖 **Rodzaje współczesnych zasilaczy impulsowych, zasada działania i metody projektowania (zasilacze PWM, rezonansowe, quasirezonansowe)**
- 📖 **Półprzewodnikowe elementy kluczujące (tranzystory MOSFET, IGBT, diody Schottky i SiC). Sterowanie tranzystorami mocy, straty komutacyjne w kluczowanych tranzystorach mocy, sposoby ich zredukowania.**
- 📖 **Zintegrowane zasilacze impulsowe (układy f-my Linear Technology, Texas Instruments „TopSwitch” f-my Power Integrations). Scalone sterowniki zasilaczy impulsowych- noty aplikacyjne. Wykorzystanie oprogramowanie firmowego (LTSpice, Tina) oraz modeli firmowych w projektowaniu zasilaczy.**
- 📖 **Elementy bierne w zasilaczach impulsowych (cewki i kondensatory mocy, transformatory impulsowe mocy). Metodyka projektowania cewek i transformatorów mocy z rdzeniami ferrytowymi oraz proszkowymi (zasady wyboru typu kształtki rdzenia, rodzaju materiału ferrytowego). Wykorzystanie firmowego oprogramowanie wspomagającego projektowanie elementów indukcyjnych. Zasady stosowania gotowych (off the shelf) elementów indukcyjnych.**
- 📖 **Zakłócenia w układach zasilania, pomiary zakłóceń oraz sposoby ich ograniczania (obowiązujące normy i wymagania określające dopuszczalny poziom emitowanych zakłóceń).**
- 📖 **Filtry w układach zasilania (bierne filtry wejściowe i wyjściowe, filtry aktywne, korektory współczynnika mocy-Power Factor Corrector)**
- 📖 **Urządzenia zasilania prądem zmiennym w urządzeniach UPS- zasada działania i parametry elektryczne (urządzenia typu on-line, off-line, line-interactive).**
- 📖 **Systemy nadzoru (watchdog) i zarządzania zasilaniem (power management) na przykładzie układów ładowania akumulatorów**
- 📖 **Przegląd struktur, parametrów oraz właściwości wybranych systemów zasilania: *PoE (Power over Ethernet), zasilanie bezprzewodowe (Qi, Witricity), sieci LAN, sieci rozległych, sieci telekomunikacji POTS-(siłownie telekomunikacyjne), sieci bezprzewodowych (tel. komórkowa, systemy radiodostępowe), sieci światłowodowych, sieci telewizji kablowej.***

 Zastosowania przemysłowe zasilaczy impulsowych: urządzenia spawalnicze, układy ładowania akumulatorów, urządzenia do nagrzewania indukcyjnego prądem w.cz., układy zasilania prądem w.cz. do lamp fluoroscencyjnych (balasty elektroniczne), zasilacze LED.

Zakres laboratorium:

Ćwiczenie 1: Badanie przetwornicy obniżającej: obliczenia elementów kompensacji częstotliwościowej wzmacniacza błędu, symulacja modeli mało-sygnałowych i wielko-sygnałowych przetwornicy, pomiary przebiegów czasowych prądów i napięć przy obciążeniu zmiennym statycznie i dynamicznie, pomiary sprawności energetycznej oraz współczynników stabilizacji napięcia wyjściowego, określanie zakresu regulacji zasilacza PWM.

Ćwiczenie nr2: Badanie przetwornicy przeciwbieżnej z izolacją galwaniczną: pomiary przebiegów czasowych prądów i napięć przy obciążeniu zmiennym statycznie i dynamicznie, pomiary sprawności energetycznej oraz współczynników stabilizacji napięcia wyjściowego, określanie zakresu regulacji zasilacza PW, badanie układów zabezpieczeń przetwornicy.

Ćwiczenie 3: Badanie układów oświetleniowych (na przykładzie przetwornicy LED oraz balastu elektronicznego): pomiary przebiegów czasowych prądów i napięć, pomiary sprawności energetycznej. Badanie zakresu regulacji prądu wyjściowego przetwornicy LED przy sterowaniu dc oraz PWM. Identyfikacja cyklu pracy i jego charakterystycznych parametrów dla balastu elektronicznego.

Ćwiczenie 4 (nowe): Pomiary zakłóceń przewodzonych w przetwornicach napięcia stałego: pomiary poziomów zakłóceń przewodzonych w liniach zasilania przetwornicy (rezonansowej lub PWM) w zakresie 0,15-30 MHz zgodnie z normą EN55032. Pomiary rodzajów zakłóceń (symetryczne – dm, asymetryczne – cm) za pomocą separatorów zakłóceń, obliczenie i budowa filtra przeciwzakłóceńowego dla badanej przetwornicy, badanie skuteczności zbudowanego filtra oraz wybranych filtrów komercyjnych w tłumieniu emisji zakłóceń przewodzonych badanej przetwornicy.

Forma zaliczenia: zaliczenie na podstawie wyników pracy semestralnej.

Literatura:

1. Materiały wykładowe, pomocnicze oraz instrukcje laboratoryjne (2022) - dostępne na stronie przedmiotu.
2. Ch. P. Basso; "Switch-mode power supplies. Spice Simulations and Practical Designs", McGraw-Hill, 2008.
3. M. K. Kazimierczuk; "Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters", Wiley, 2008,
4. M. K. Kazimierczuk; "High-frequency magnetic components", Wiley, 2009.
5. M. Brown, "Power Supply cookbook", EDN series for design engineers, Newnes 2001.
6. M. Kazimierczuk, D. Czarkowski, *Resonant Power Converters*, J. Wiley and Sons, Ltd. New York 1995.
7. J. Baranowski, G. Czajkowski, *Układy elektroniczne cz. II. Układy analogowe nieliniowe i impulsowe*, WNT, Warszawa 1993.
8. O. Ferenczi, *Zasilanie układów elektronicznych. Zasilacze impulsowe*, WNT, Warszawa 1989.
9. R. E. Tarter, *Principles of Solid-State Power Conversion*, H. W. Sams and Co. Inc., 1985.
10. A. Napieralski, M. Napieralska, *Polowe półprzewodnikowe przyrządy dużej mocy*, WNT, Warszawa 1995.
11. Praca zbiorowa pod kierunkiem L. Spiralskiego: "Zakłócenia w aparaturze elektronicznej", Radioelektronik z o. o. Warszawa 1995.
12. A. Czerwiński: „Akumulatory, baterie, ogniwa”, WKŁ, Warszawa 2005.

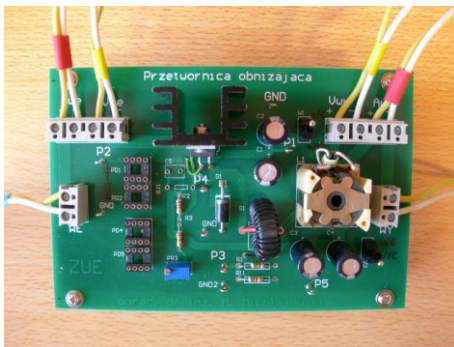
LABORATORIUM

ZASILANIE UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH (ZUE)

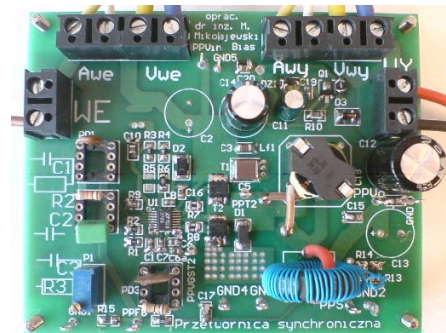
opis programu ćwiczeń

1. Badanie przetwornicy PWM obniżającej

Program ćwiczenia obejmuje obliczenie wartości elementów kompensacji częstotliwościowej wzmacniacza błędów przetwornicy (metodą współczynnika k) dla zadanej częstotliwości granicznej i marginesu fazy. Wstępną weryfikację poprawności obliczeń przeprowadza się poprzez symulację modelu mało-sygnałowego (symulacja .ac) oraz modelu wielkosygnałowego (symulacja .tran) przetwornicy z wykorzystaniem programu LTSpice. Następnie obliczone elementy są implementowane w układach przetwornic i przeprowadzane są pomiary przebiegów czasowych prądów oraz napięć dla wybranych warunków pracy, pomiar sprawności energetycznej w funkcji napięcia zasilania i prądu obciążenia, a także pomiar odpowiedzi układów na skokowe zmiany prądu obciążenia.



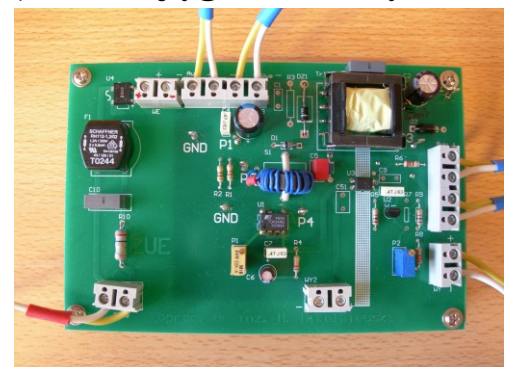
Przetwornica obniżająca $V_{we}=8-30V, V_{wy}=5V/3A$



Synchroniczna przetwornica obniżająca $V_{we}=15-30V, V_{wy}=12V/5A$

2. Badanie przetwornicy przeciwbieżnej PWM (flyback) z izolacją galwaniczną

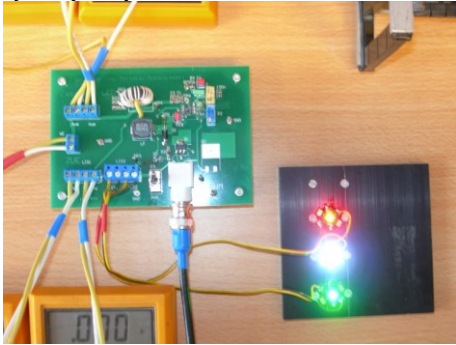
W ramach ćwiczenia studenci zapoznają się z działaniem scalonego sterownika do przetwornic przeciwbieżnych typu TOP224 lub TOP244. Poznają zasady konstrukcji transformatora na rdzeniu ferrytowym do przetwornic typu przeciwbieżnego, a także zasadę pracy układu sprzężenia zwrotnego z transoptorem. Mierzone są przebiegi czasowe napięć i prądów w układzie dla wybranych warunków pracy, badane jest działanie układu miękkiego startu oraz układów zabezpieczających przetwornicy (zabezpieczenie temperaturowe, nadprądowe i nadnapięciowe), wykonuje się pomiary sprawności energetycznej oraz odpowiedzi układu na skokową zmianę prądu obciążenia.



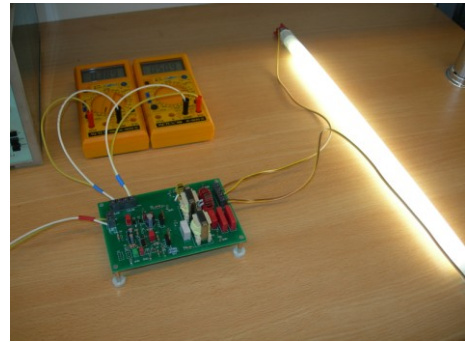
Badana przetwornica przeciwbieżna, $V_{we}=20-50V, V_{wy}=12V/1A$

3. Badanie układów oświetleniowych

W ramach ćwiczenia badana jest przetwornica obniżająca PWM przeznaczona do zasilania diod LED mocy oraz rezonansowy układ zasilający lampę fluorescencyjną (balast elektroniczny). Dla przetwornicy LED mierzona jest: sprawność energetyczna przetwornicy, zakres regulacji prądu diod LED dla regulacji stałoprądowej oraz zakres regulacji prądu diod LED przy wykorzystaniu dodatkowej modulacji PWM o częstotliwości 500Hz. Badanie balastu elektronicznego obejmuje pomiary przebiegów czasowych prądów i napięć w układzie w celu identyfikacji poszczególnych etapów (nagrzewanie elektrod lampy, zapłon, praca nominalna) w cyklu pracy układu.



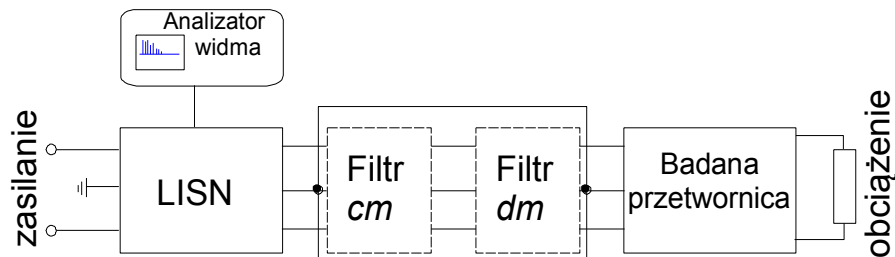
Przetwornica PWM 500kHz do zasilania diod LED



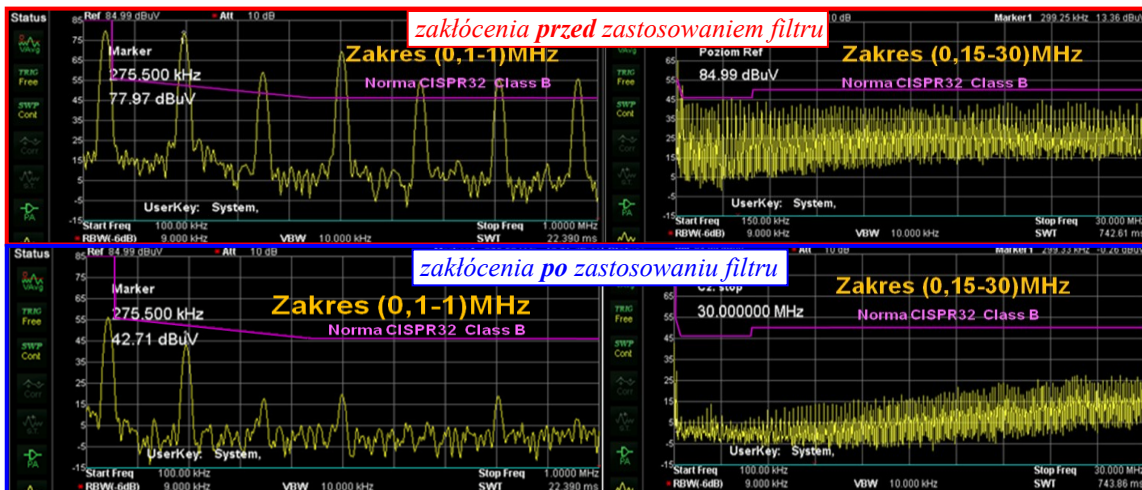
Balast elektroniczny $V_{we}=48V/P_L=18W$

4. Pomiary zakłóceń przewodzonych w przetwornicach napięcia stałego

W ramach wykładu i ćwiczenia laboratoryjnego studenci zapoznają się z obowiązującymi normami dotyczącymi dopuszczalnych poziomów emisji zakłóceń, budową sztucznej sieci (LISN) i stanowiska pomiarowego oraz metodami pomiaru zakłóceń przewodzonych i promieniowanych emitowanych przez urządzenia elektroniczne na przykładzie przetwornic napięcia stałego. W szczególności omówione są rodzaje zakłóceń przewodzonych (cm- *common mode* czyli zakłócenia asymetryczne oraz dm- *differential mode* czyli zakłócenia symetryczne), sposób rozchodzenia się sygnałów *cm* i *dm* w liniach zasilania, pomiar zakłóceń *cm* i *dm* za pomocą separatorów zakłóceń. Na podstawie wyników pomiaru zakłóceń *cm* i *dm* w liniach zasilania przetwornicy napięcia stałego, studenci w zespołach dwuosobowych projektują jednostopniowy filtr przeciwzakłóceńowy z dławikiem skompensowanym prądowo, w którym do tłumienia zakłóceń *dm* wykorzystuje się indukcyjności rozproszenia. Zaprojektowany filtr jest następnie montowany na dedykowanej płytce i przeprowadzane są pomiary dokumentujące skuteczność zbudowanego filtra. Zbudowany filtr powinien zapewnić spełnienie przez przetwornicę normy (EN55032 Class B) dla zakłóceń przewodzonych z założonym marginesem.



Uproszczony schemat układu do pomiaru zakłóceń przewodzonych (LISN - Line Impedance Stabilization Network)



Przykładowe wyniki pomiarów zakłóceń przewodzonych w liniach zasilania przetwornicy *przed* (widoczne przekroczenia poziomów określonych przez normę) i *po* zastosowaniu zaprojektowanego filtra zakłóceń przewodzonych

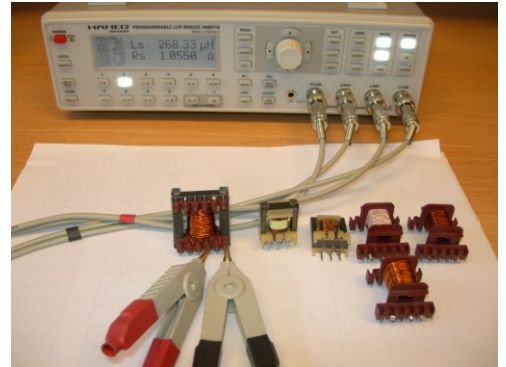
Prezentacje

W ramach krótkich prezentacji towarzyszących ćwiczeniom laboratoryjnym lub wykładom przedstawiane będą różnorodne urządzenia zasilające prądem stałym lub zmiennym (m.cz. lub w.cz.) jak np. Przetwornica rezonansowa, spawarka inwerterowa, zagadnienia konstrukcyjne elementów indukcyjnych na rdzeniach ferrytowych, nagrzewnica indukcyjna, ups, itp.

Elementy indukcyjne na rdzeniach ferrytowych – konstrukcja, parametry, pomiary

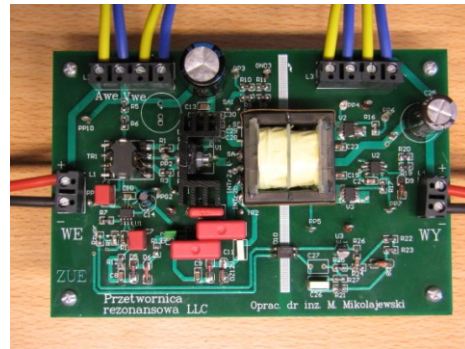
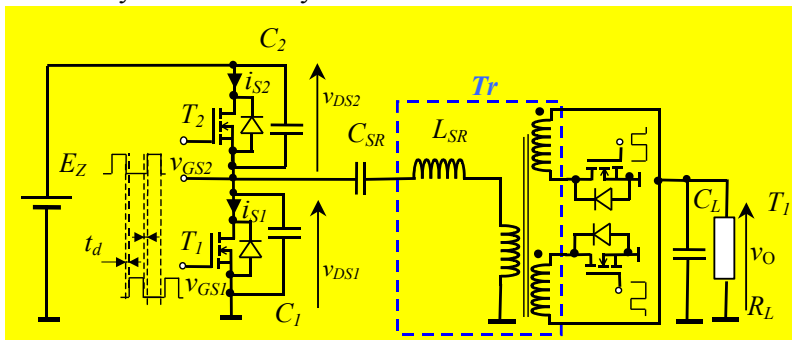
Na przykładzie wykonanych elementów indukcyjnych demonstrowane są następujące zagadnienia i zjawiska: zjawisko naskórkowości i efekt zbliżeniowy w elementach indukcyjnych, zakres stosowalności licy w.cz. w konstrukcji uzwojeń dławików i transformatorów, wpływ konstrukcji uzwojeń transformatora przetwornicy na jakość sprzężenia magnetycznego uzwojeń (konstrukcja transformatorów do przetwornic PWM i przetwornic rezonansowych).

Pomiary mało-sygnałowe dławików i transformatorów



Rezonansowa przetwornica napięcia stałego typu LLC

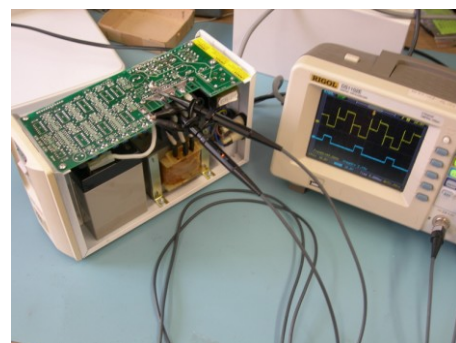
Prezentowana jest zasada działania rezonansowej przetwornicy napięcia na przykładzie przetwornicy typu LLC. Obserwowane są przebiegi czasowe w kluczowych punktach układu i wykonywany pomiar sprawności energetycznej. Omawiany jest wpływ przyjętych rozwiązań jak transformator rezonansowy, prostownik synchroniczny na parametry elektryczne i koszt wykonania układu.



Rezonansowa przetwornica napięcia typu LLC (36-60V//12V/60W, sprawność maksymalna 92%)



Nagrzewnica indukcyjna (praca magisterska IR PW)



Prezentacja UPS



Spawarka inwerterowa f-my GYS (zdj. z materiałów prom. GYS)



i od środka