



Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ СИСТЕМ ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Керівник лабораторії
д.т.н., професор кафедри
радіотехнічних систем
Володимир ЯСЬКІВ
yaskiv@yahoo.com

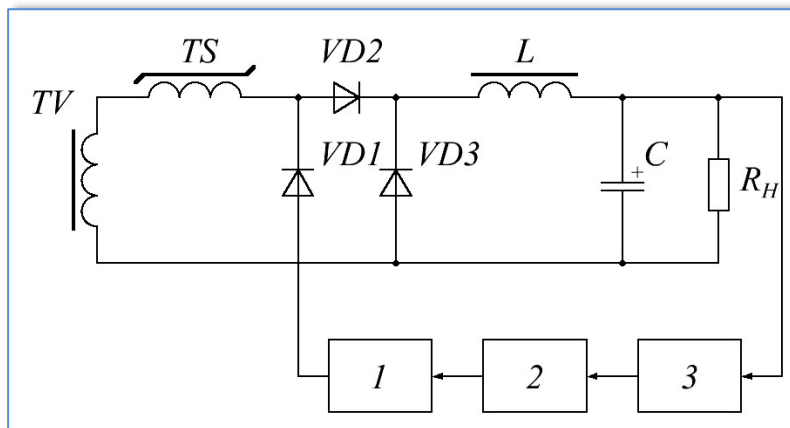
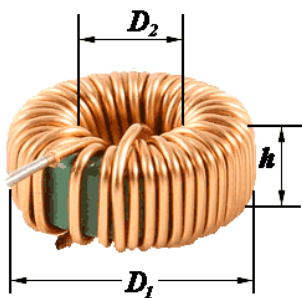
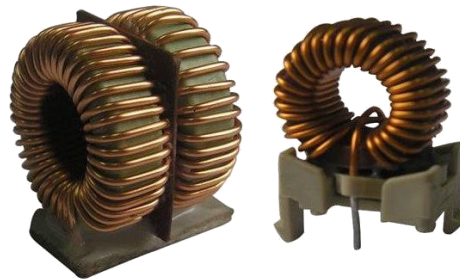


Напрямки наукової діяльності

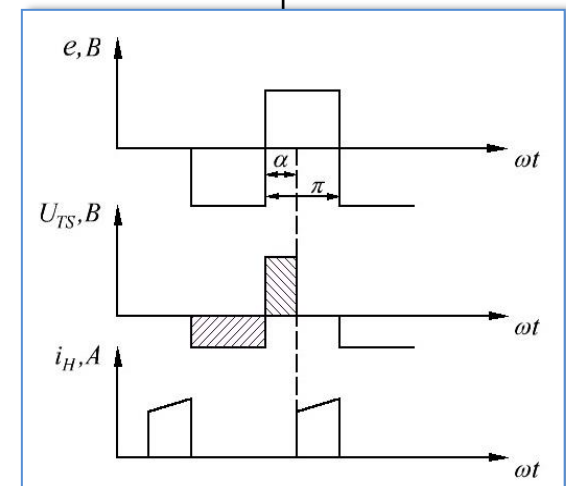
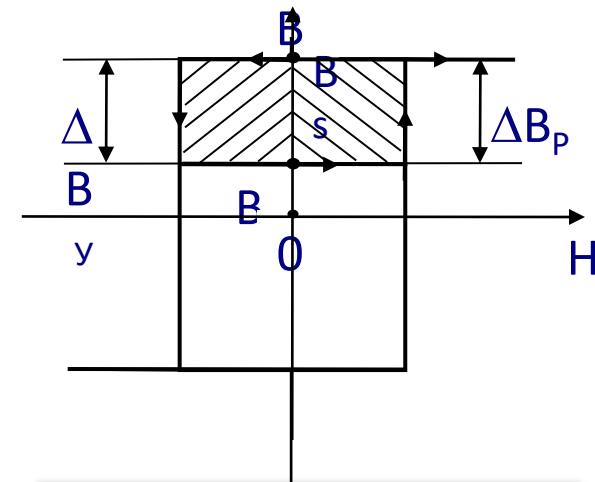
Основними напрямками діяльності Лабораторії є:

- розробка та дослідження високоефективних напівпровідникових перетворювачів електроенергії (НПЕ) на основі сучасної елементної бази та оригінальних схемотехнічних рішень з високим рівнем питомих та експлуатаційних характеристик за даними замовника для різних сфер застосування;
- провадження дослідницької діяльності з пріоритетним використанням розроблених методів і засобів на основі високочастотних магнітних підсилювачів (ВМП) з прямокутною петлею гістерезису (ППГ);
- виконання науково-дослідних робіт, які можуть фінансуватися з коштів як державного бюджету України, так і шляхом укладання господарських договорів, а також за рахунок грантів, в т.ч. міжнародних;
- виготовлення дослідних зразків та дрібносерійне виробництво НПЕ;
- надання платних фахових консультацій в області перетворювальної техніки, науково-консультативних послуг з питань планування, організації і проведення наукових досліджень;
- організація і проведення лекцій, наукових та науково-методичних семінарів і конференцій відповідного спрямування, в т. ч. міжнародних;
- представлення розробок Лабораторії на виставках всеукраїнського та міжнародного рівнів;
- популяризація результатів досліджень Лабораторії шляхом публікації їх в науковій періодиці та здійснення доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях;
- здійснення винахідницької та раціоналізаторської діяльності.

Високочастотний магнітний підсилювач як основний компонент імпульсного стабілізатора постійної напруги



Базова функціональна схема ІСПН на ВМП
 1 - підсилювач постійного струму
 2 - вузол порівняння
 3 - подільник вихідної напруги стабілізатора



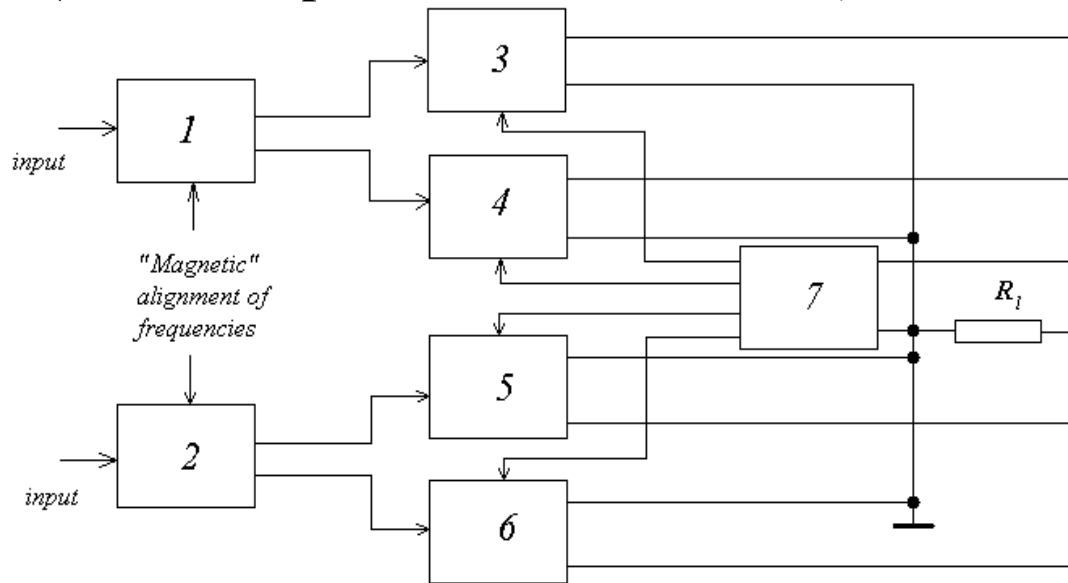
Порівняння ключа на основі ВМП з ключем на основі напівпровідникових елементів

- є ключем змінної напруги;
- не критичний до форми вхідної напруги;
- не є джерелом електромагнітних завад;
- є фільтром вхідних завад (як в ненасиченому, так і в насиченому станах);
- високий к.к.д. (99%), втрати не залежать від струму навантаження;
- коефіцієнт підсилення по струму до 1000;
- простота схеми керування (1-2 транзистори в лінійному режимі);
- висока радіаційна і механічна стійкість;
- не вимагає захисту (сам слугує елементом захисту транзисторного перетворювача);
- багатофункціональність: підсилювач потужності, силовий комутаційний елемент, широтно-імпульсний модулятор, виконує функції інтегратора, компаратора, елементу захисту.

Порівняльна характеристика НПЕ на основі ВМП з традиційними НПЕ

- можливість реалізації багатоканальних НПЕ з рівноцінними і незалежними вихідними каналами із 100% діапазоном зміни струму навантаження;
- допускають широкий діапазон зміни вхідної напруги;
- висока якість вихідних напруг;
- високий рівень динамічних характеристик;
- нижчий рівень електромагнітних завад;
- висока ефективність;
- нижча собівартість;
- висока радіаційна і механічна міцність;
- вища надійність за рахунок як фізичної природи ВМП, так і суттєвого спрощення схемотехніки;
- високий рівень питомої потужності;
- простота реалізації керованих джерел живлення;
- високий рівень уніфікації – можливість використання одного типорозміру магнітопроводу ВМП та одних і тих же схемотехнічних рішень для реалізації НПЕ в широкому діапазоні вихідних параметрів.

Структура НПЕ на ВМП з високим рівнем струму навантаження (5В, 200А; робоча частота 50 кГц)



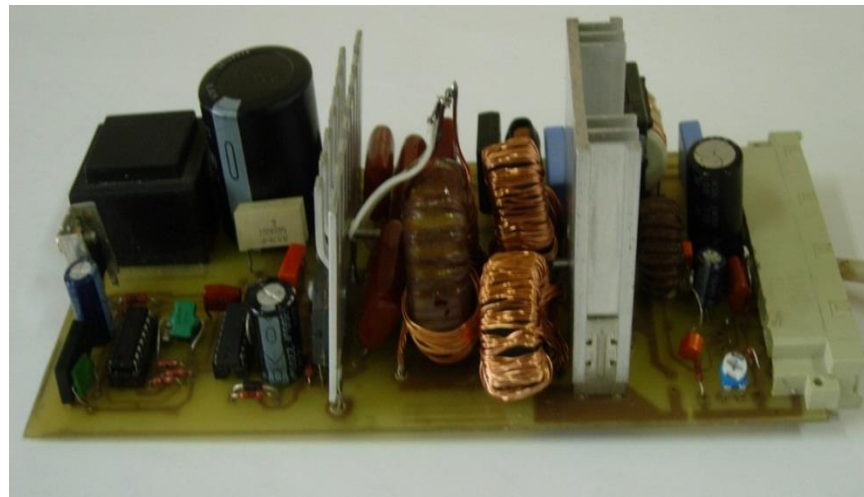
1,2 – нерегульований високочастотний транзисторний інвертор;
3,4,5,6 – імпульсний регулятор постійної напруги на ВМП;
7 - компаратор

Реалізовано запропоновані:

- метод організації паралельної роботи високочастотних нерегульованих транзисторних інверторів з високою стабільністю синхронної та синфазної їх комутації в 100% діапазоні зміни всіх збурюючих факторів;
- метод організації паралельної роботи імпульсних стабілізаторів постійної напруги на високочастотних магнітних підсилювачах (ІСПН на ВМП), що забезпечує рівномірний розподіл струму навантаження між окремими стабілізаторами в усьому діапазоні його зміни з врахуванням всіх дестабілізуючих факторів при єдиному зворотному зв'язку за вихідною напругою для всіх ІСПН та унеможливорює вплив технологічного розкиду параметрів магнітопроводів на рівномірність розподілу струму навантаження.

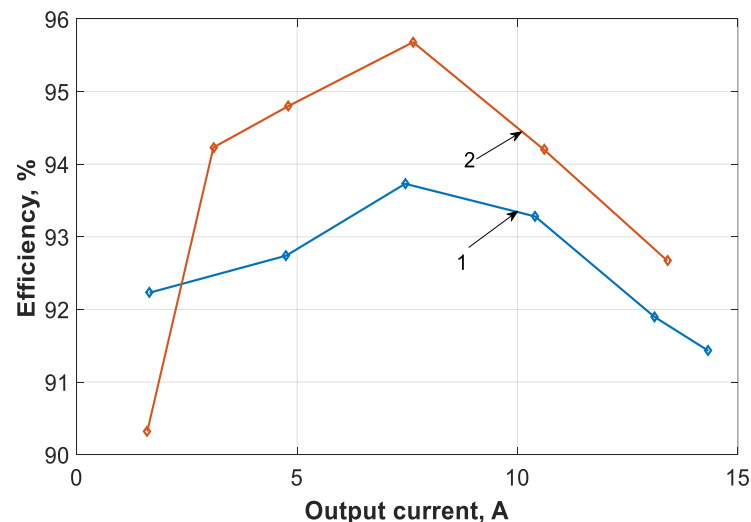
Стабілізований НПЕ на ВМП 24V/15A з синхронним випрямлячем

- номінальне значення вхідної напруги	310 В
- номінальне значення вихідної напруги	24 В
- струм навантаження	15 А
- діапазон зміни струму навантаження	100 %
- коефіцієнт корисної дії в 100 % діапазоні зміни струму навантаження	90-95,7%
- коефіцієнт корисної дії в діапазоні зміни струму навантаження від 3А до 11А (понад 50% загального діапазону)	94-95,7%
- нестабільність по струму	0,25 %
- рівень високочастотних пульсацій	25 мВ
- двійний розмах пульсацій (peak to peak)	100-150 мВ



Вперше запропоновано метод побудови ІСПН на ВМП з синхронним випрямленням, в якому, на відміну від існуючих, керування польовими транзисторами випрямляча здійснюється безпосередньо у функції напруг високочастотного силового трансформатора інвертора без введення будь-яких додаткових елементів чи схем керування ними за рахунок принципу роботи ВМП, що забезпечує вищу ефективність, надійність та унеможливорює протікання наскрізних струмів у випрямлячі.

Вперше запропоновано метод побудови вихідного LCD-фільтра в ІСПН на ВМП, в якому керування польовим транзистором, що використовується замість діода, здійснюється у функції напруг дроселів насичення ВМП без введення будь-яких додаткових елементів чи схем керування ним, що забезпечує вищу ефективність та надійність перетворювача.

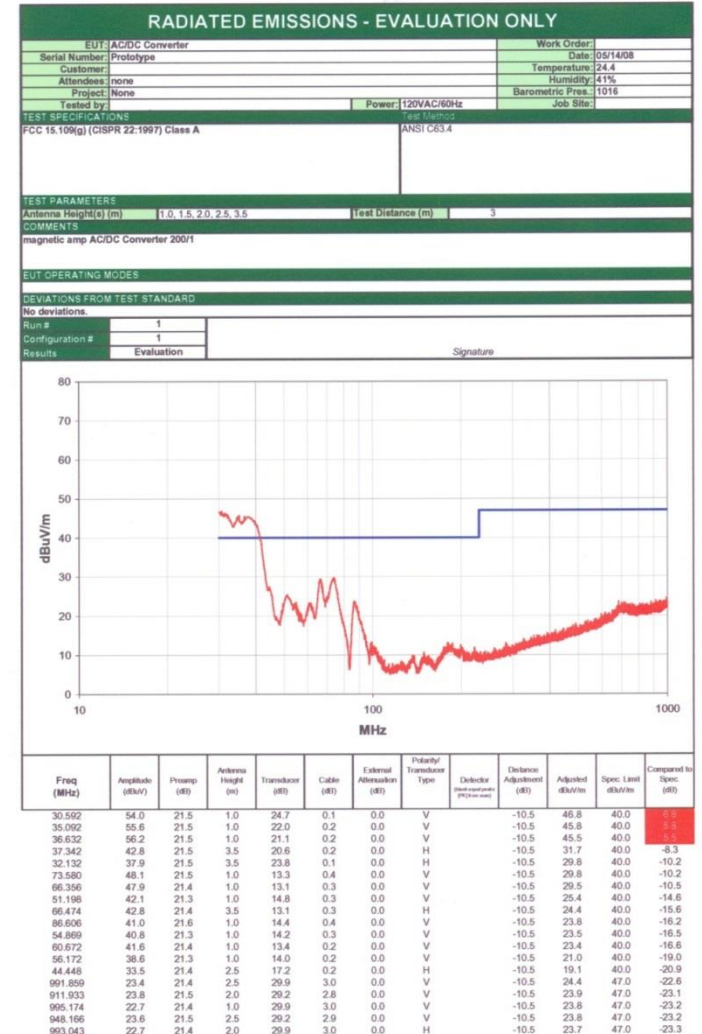
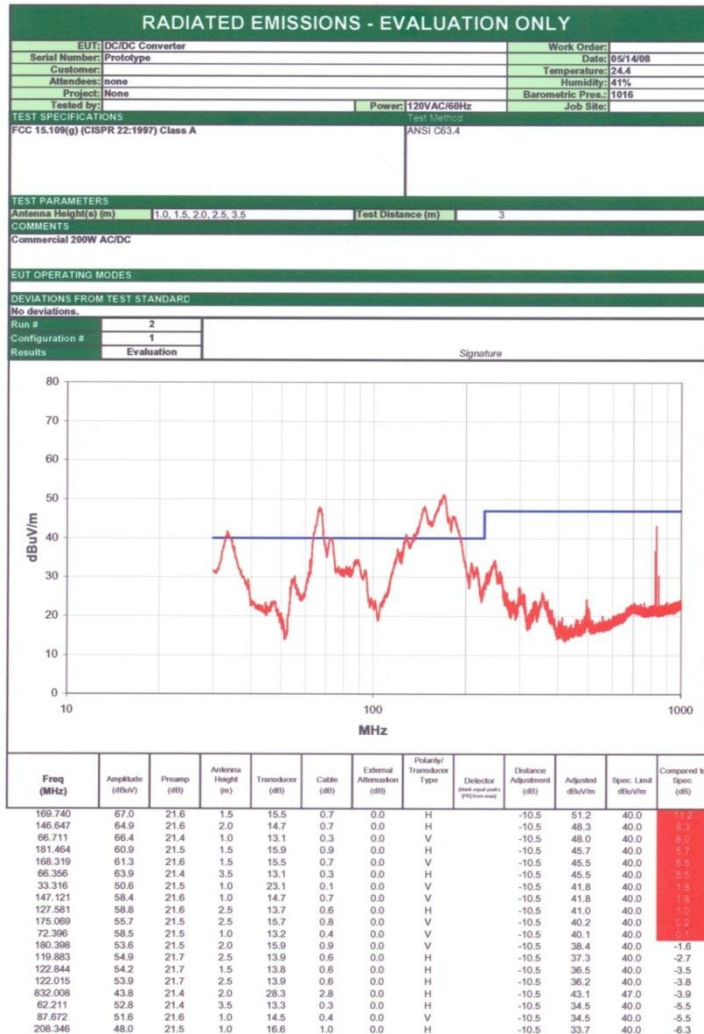


ККД стабілізованого НПЕ на ВМП:

1 - з випрямними діодами MBR30100,

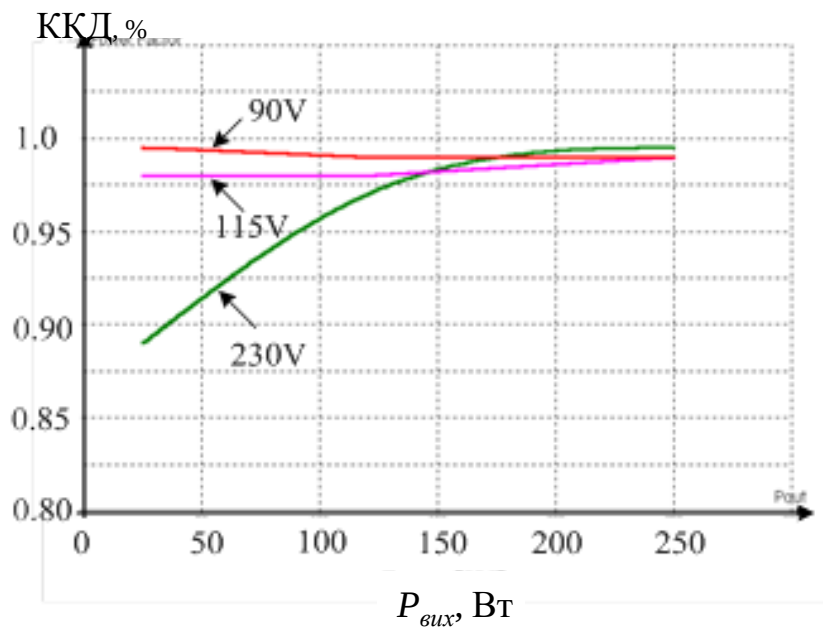
2 - з синхронним випрямлячем IRFB4310

Дослідження електромагнітної сумісності ІСПН на ВМП

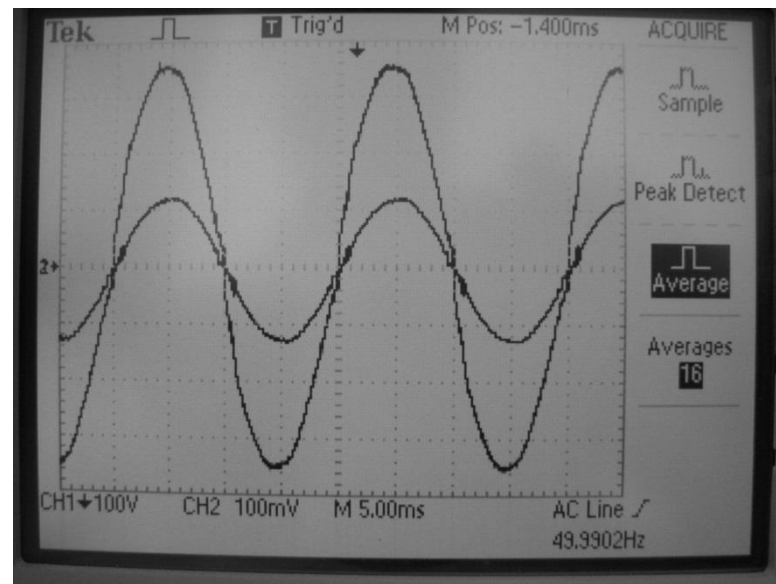


Експериментальне дослідження електромагнітної сумісності НПЕ на ВМП підтвердило його низький рівень електромагнітних завад випромінювання. Так, в діапазоні частот від 42 МГц до 400 МГц рівень електромагнітних завад випромінювання розробленого дослідного зразка НПЕ на вихідні параметри 24 В, 8 А суттєво нижчий (справа), ніж в американського аналога (зокрема, в діапазоні частот 130-200 МГц - в 4-5 разів).

Дослідження електромагнітної сумісності ІСПН на ВМП



Залежність $\cos\phi$ від вихідної потужності ІСПН на ВМП при різних значеннях вхідної змінної напруги



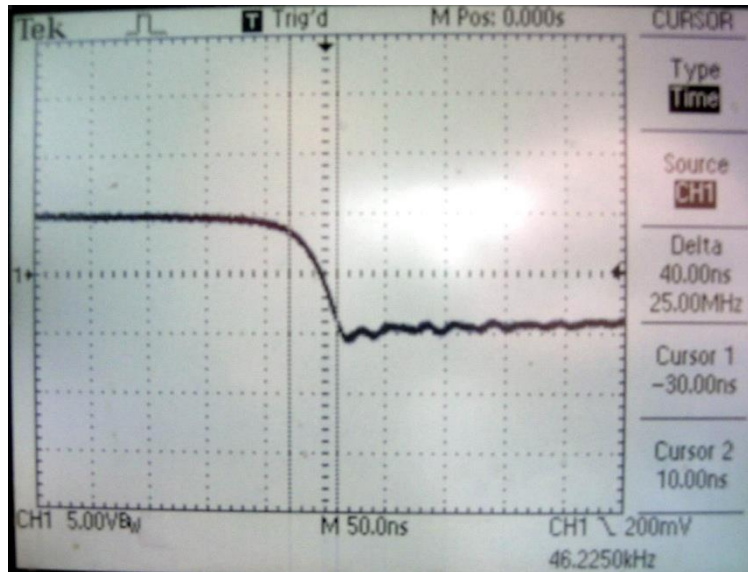
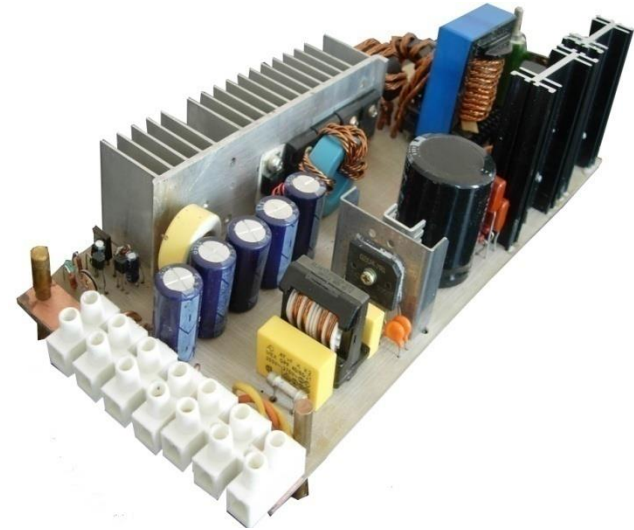
Осцилограми вхідної напруги і струму в ІСПН на ВМП з коректором коефіцієнта потужності



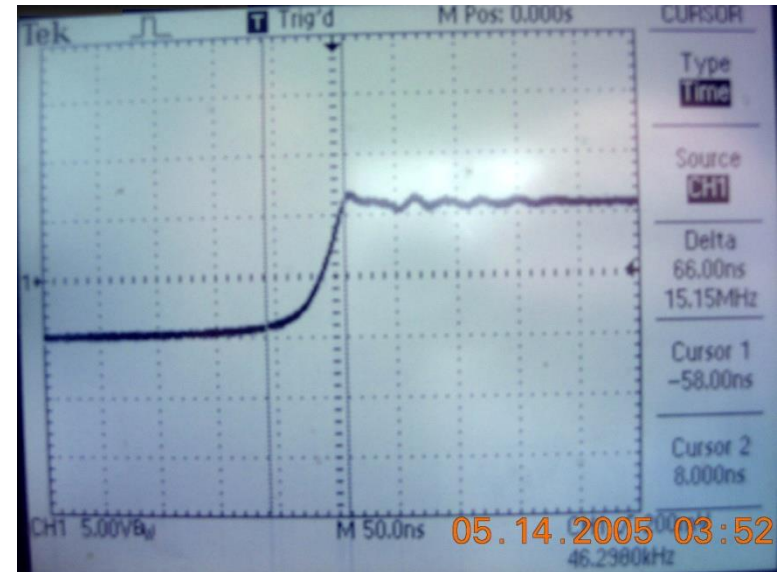
Під час роботи в науково-дослідній лабораторії систем вторинного електроживлення над реалізацією проєкту за Програмою НАТО (2009) - Доктор Александр Абрамович (Каліфорнійський університет), керівник лабораторії Володимир Ясків (ТНТУ), м.н.с. Олександр Гурник (ТНТУ)

Дослідження динамічних характеристик ІСПН на ВМП

- вхідна напруга 135...270В, 50Гц
- вихідна потужність 250 Вт
- вихідна напруга 5 В
- вихідний струм 0...50 А
- ККД 82 %
- робоча частота 50 кГц
- температурний діапазон – 40... +50 °С
- габарити 100x220x60 мм



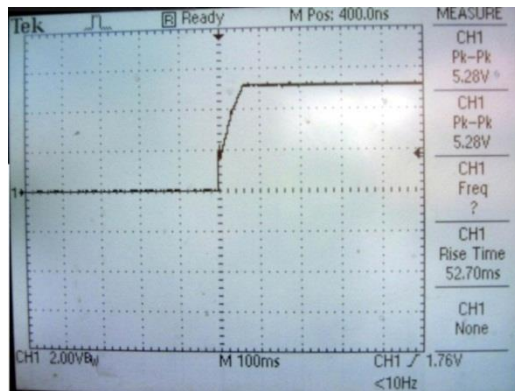
а)



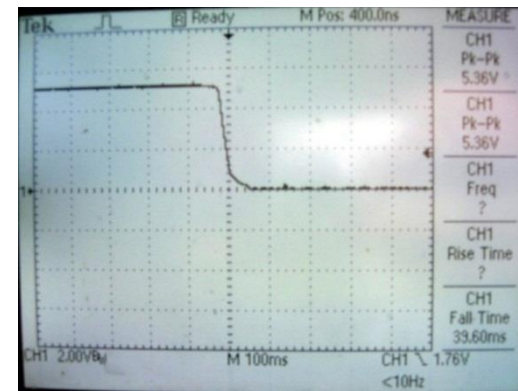
б)

Процеси перемикання силового транзисторного ключа: включення а) та виключення б)

Дослідження динамічних характеристик ІСПН на ВМП

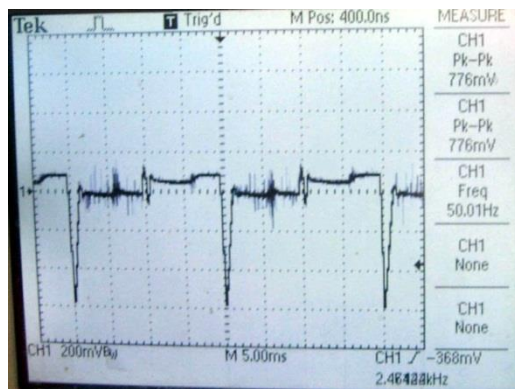


а)

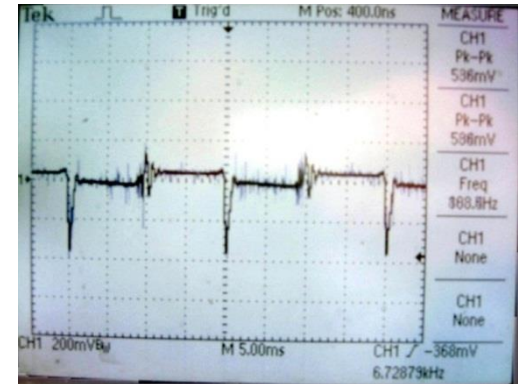


б)

Перехідні процеси вихідної напруги при включенні а) та виключенні б) джерела живлення



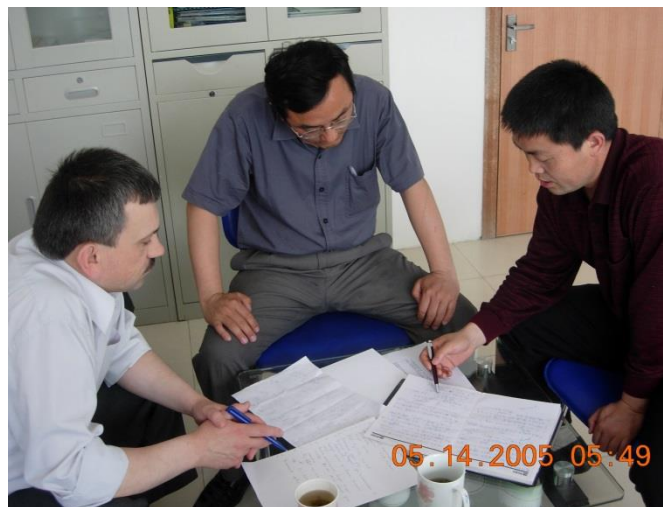
а)



б)

Перехідні процеси вихідної напруги при дії циклічного навантаження частотою 5 кГц з щільністю двійка при зміні струму навантаження в межах 0-100% а) та 60-100% б) відповідно.

Експериментальні дослідження динамічних характеристик дослідного зразка НПЕ на ВМП на вихідні параметри 5 В, 50 А засвідчили відсутність будь-яких перегулювань в перехідних процесах. При цьому час перехідного процесу при його включенні склав 50 мс. Перехідний процес завершується в момент досягнення регульованою величиною (вихідною напругою) її усталеного рівня, що майже на порядок зменшує його тривалість. При циклічній 100% зміні навантаження з частотою 5 кГц час перехідного процесу рівний 1,8 мс.



Під час виконання спільних дослідницьких проектів в Китаї

Приклади розробок ІСПН на ВМП

Імпульсне джерело живлення засобів інформаційних технологій

- вхідна напруга 220В $\pm 20\%$, 50 Гц.
- вихідна потужність 240 Вт
- вихідна напруга 24 В
- вихідний струм 0...10 А
- ККД 90-92 %
- робоча частота 50 кГц
- температурний діапазон - 10... +50 °C
- габарити 120x200x50 мм



Імпульсне джерело живлення автомобільного радіосканера

- вхідна напруга 12В $\pm 20\%$
- вихідна потужність 100 Вт
- вихідна напруга 24 В
- вихідний струм 0...4 А
- ККД 75 %
- робоча частота 50 кГц
- температурний діапазон - 10... +50 °C
- габарити 155x158x50 мм

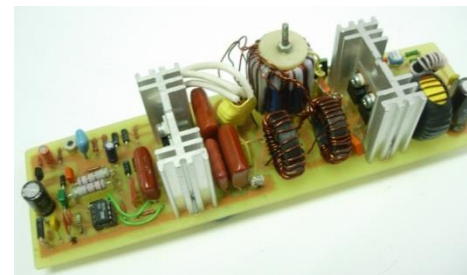


Кероване джерело живлення електричних гальм системи електроприводу антени великого діаметру



- вхідна напруга 220В $\pm 10\%$, 50 Гц
- вихідна потужність 150Вт(450макс)
- 3 вихідні канали 5 В, 10А
- стабілізація струму 10 А
- ККД 86 %
- робоча частота 45 кГц
- температурний діапазон - 40... +50 °C
- габарити 100x220x60 мм

Модульний НПЕ на ВММ



- номінальне значення вхідної напруги 48 В
- діапазон зміни вхідної напруги 36-72 В
- номінальне значення вихідної напруги 12 В
- струм навантаження 5 А
- діапазон зміни струму навантаження 100 %
- коефіцієнт корисної дії 89 %
- нестабільність по напрузі 0,25 %
- нестабільність по струму 0,25 %
- загальна нестабільність 0,5 %
- рівень високочастотних пульсацій 20 мВ
- двійний розмах пульсацій (peak to peak) 100 мВ

Досвід розробки в різних галузях:

- **Космос** - блок живлення мікропроцесорної техніки 5 В, 50 А –космодром «Байконур; бортова система живлення супутника 200 В, 1 А;
- **Медицина** – система енергозабезпечення та контролю апарату «штучна нирка» В. Braun-Rolitron (м. Будапешт, Угорщина); ультразвукова ванна для стоматології;
- **Зв'язок** - десятиканальний блок живлення радіоприймальних пристроїв корабля; блок живлення автомобільних радіостанцій; імпульсне резонансне джерело живлення (5В, 20 А) ($f=200-400$ кГц) для радіолокаційних станцій;
- **Атомна енергетика** – блок живлення керування процесом освітлення при завантаженні ядерного палива в реактор;
- **Зварювання** – зварювальний апарат (напівавтомат) 30 В, 500 А;
- **Інформаційні технології** – багатоканальні джерела живлення (науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань, м.Каунас, Литва; завод «Мікроприлад», м.Львів, Україна);
- **Кіноапаратура** – стабілізатор струму кіноустановки (завод кінообладнання, м.Самарканд, Узбекистан);
- **Транспорт** – багатоканальний блок живлення автоматики рухомого складу метро;
- **Авіація** – п'ятиканальний пів кіловатний блок живлення для гелікоптера та інші.

Запропоновані методи та схемотехнічні рішення опубліковані в понад 120 наукових роботах, в т.ч. захищені 22 патентами та 1 авторським свідоцтвом, доповідались на 50 міжнародних конференціях в Китаї, Німеччині, Польщі, Словаччині, США, Туреччині, Україні, Чехії. Розробки експонувались на міжнародних виставках:

- СеВІТ (2002, 2003, 2004, 2005 – м.Ганновер, Німеччина);
- «Дні української науки і техніки в Китаї» (2003 - м.Цзинань, пров. Шаньдунь; 2005- м.Усі, м.Цзясин, пров. Шанхай; 2009, 2012 - м. Харбін, Китай)

Під керівництвом проф. Володимира Яськіва реалізовано в ТНТУ 14 науково-дослідних робіт, з яких 7 виконувались в рамках спільних українсько-китайських науково-дослідних проектів за Програмою українсько-китайського науково-технічного співробітництва, одна НДР виконувалась в рамках гранту, отриманого за програмою НАТО спільно з лабораторією силової електроніки (Prof. K.Smedley) Каліфорнійського університету, м. Ірвін, США.