

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

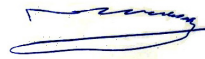
Кафедра Акустичних та Мультимедійних Електронних Систем

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.391.83

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



С. А. Найда
(ініціали, прізвище)

“7” грудня 2020 р.

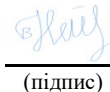
Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

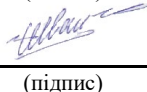
на тему: Електронні системи забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності

Виконав: студент II курсу, групи ДВ-91мп
(шифр групи)

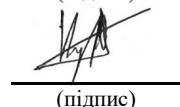
Нейметі Віктор Артурович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)


Науковий керівник доцент каф. АМЕС, к. т. н., доц. Швайченко В.Б.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент Професор каф. ЕПС, д.т.н., проф. Кузьмичев А.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Факультет електроніки
(повна назва)


Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С.А. Найда
(ініціали, прізвище)

« 7 » грудня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Нейметі Віктору Артуровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Електронні системи забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності

науковий керівник дисертації Швайченко Володимир Борисович, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. № 3241-с

2. Строк подання студентом дисертації 7.12.2020 р.
3. Об'єкт дослідження: Електронні системи та їх складові, що підвищують ефективність електромагнітну сумісність
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): інтегральні мікросхеми, які вбудовуються в електронні системи та забезпечують електромагнітну сумісність, знижують вплив електромагнітних завад

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Проаналізувати існуючі ІМС, які забезпечують вимоги ЕМС. 2) За допомогою програмного забезпечення перевірити характеристики інтегральних мікросхем та обрати деякі з них для подальшого використання на практиці 3) Обрати модель ІМС, яка в майбутньому буде використовуватись в електронних схемах забезпечення ЕМС підвищеної ефективності та дослідити їх характеристики.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація, 12 слайдів.
7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) ЗАСОБИ ОБМЕЖЕННЯ ЗАВАД В СУЧАСНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ ПОТУЖНОСТІ // V International Scientific and Practical Conference “FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE MODERN WORLD”, 16-18 грудня 2020 року, Бостон, США
8. Дата видачі завдання 10. 09. 2019 р.

Календарний план

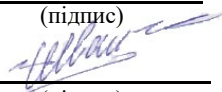
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу: Огляд стану предметної області	15.12.2019	
2	Проводиться збір та вивчення інформації, необхідної для написання другого розділу диплому	03.09.2020	
3	Написання третього розділу. Аналіз обраних ІМС для електронних схем	16.10.2020	
4	Написання четвертого розділу: Детальне дослідження обраних інтегральних мікросхем.	13.11.2020	
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	01.12.2020	
6	Підготовка та оформлення слайдів для доповіді	05.12.2020	

Студент



(підпис)

Науковий керівник дисертації



(підпис)

В.А. Нейметі

(ініціали, прізвище)

В.Б. Швайченко

(ініціали, прізвище)

УДК 621.391.82

РЕФЕРАТ

Нейметі В.А. Електронні системи забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності: магістерська дис. : 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 99 с.

Магістерська дисертація: 99 с., 76 рис., 18 табл., 16 джерел.

Електромагнітна сумісність, електромагнітні завади, інтегральні мікросхеми, звукотехнічна апаратура, коефіцієнт корисної дії, потужність.

Актуальність теми

Електронні системи в даний час знаходять широке застосування в побутовій і автомобільній звукопідсилювальній апаратурі, портативних і телекомунікаційних пристроях. Розвиток схемотехніки і елементної бази електронних схем дозволило значно поліпшити акустичні характеристики, при цьому реалізувавши їх головну перевагу: високу енергоефективність. Електронні системи часто є вбудованими. При цьому виникає проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС).

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка моделі електронної системи забезпечення електромагнітної сумісності з низьким рівнем електромагнітних завад. Задача дослідження – визначити для досягнення мети інтегральну мікросхему, що відповідає вимогам з ЕМС.

Вирішення поставлених завдань та досягнуті результати

У даній роботі запропоновано створення моделі електронної системи, в якій буде високий коефіцієнт корисної дії та низькі втрати потужності, що забезпечить електромагнітну сумісність і зменшить рівень ненавмисних завад, чим покращить значення відношення сигнал/шум. Для виконання завдання необхідно проаналізувати декілька інтегральних мікросхем та обрати ті, які виконують умову задачі та, в подальшому, можуть бути впроваджені в електронні системи для забезпечення ЕМС.

Об'єкт дослідження

Процеси обробки сигналів в інтегральних мікросхемах класу LT та LTC.

Предмет дослідження

Електронні системи забезпечення ЕМС підвищеної ефективності.

Методи дослідження

Для вирішення проблеми в даній роботі використовуються методи аналізу, системного аналізу, порівняння та логічного узагальнення результатів.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у аналізі та удосконаленні моделі системи, а саме підборі ІМС для кращого ефекту.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблена схема може бути інтегрована у існуючу систему синтезу звуку. Простота у збірці дозволяє без проблем проводити ремонт.

Публікації

Засоби обмеження завад в сучасних підсилювачах потужності // V International Scientific and Practical Conference “FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE MODERN WORLD”, 16-18 грудня 2020 року, Бостон, США

ABSTRACT

Master's dissertation: 99 pp., 76 figs., 18 tables, 16 sources.

Electromagnetic compatibility, electromagnetic interferences, integrated microcypes, sound engineering equipment, usefulness.

Actuality of theme

Electronic systems are now widely used in household and automotive sound amplification equipment, portable and telecommunications devices. The development of circuitry and the element base of electronic circuits has significantly improved the acoustic characteristics, while realizing their main advantage: high energy efficiency. Electronic systems are often embedded.

The purpose and objectives of the study

The aim of the study is to develop a model of an electronic system to ensure electromagnetic compatibility with a low level of electromagnetic interference. The task of the research is to choose the optimal integrated circuit to achieve the goal.

Solving the set tasks and achieved results

This paper proposes to create a model of an electronic system in which there will be a high efficiency and low power loss, which will provide high-quality electromagnetic compatibility and reduce the number of interferences, which will reduce the value of the signal-to-noise ratio. To perform the task, it is necessary to analyze several integrated circuits and select those that meet the condition of the problem and, in the future, can be implemented in electronic systems to provide EMC.

Object of study

LT and LTC class integrated circuits.

Subject of study

Electronic systems for high-efficiency EMC.

Research methods

To solve the problem in this work, methods of analysis, systems analysis, comparison and logical generalization of results are used.

Scientific novelty

The scientific novelty of the work is the analysis and improvement of system details, namely the selection of ICs for the best effect.

The practical significance of the obtained results

The developed scheme can be integrated into the existing sound synthesis system. Simplicity in assembly allows to carry out repairs without problems.

Publications

Interference suppression devices in modern power amplifiers // V International Scientific and Practical Conference “FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE MODERN WORLD”, December 16-18, 2020, Boston, USA

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1	12
ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ. ОСОБЛИВОСТІ	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ	
1.1. Введення в проблему ЕМС. Основні терміни та визначення.....	12
1.2 Загальні відомості щодо електромагнітних завад.....	22
1.3 Проблема захисту від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації.....	28
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	30
РОЗДІЛ 2	31
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ	
2.1. Поняття про електронну систему та її характеристики	31
2.2. Класифікація електронних систем.....	34
2.3. Приклади електронних систем	40
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	43
РОЗДІЛ 3	44
ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМИ ПРОЕКТУВАННЯ	
ІМПУЛЬСНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ LTPOWERCAD II	
3.1. Стислий опис програми LTPOWERCAD II.....	44
3.2. Вимірювання параметрів протизавадного фільтра	51
3.3. LTC7800 та LTC3779. Проектування при різних стандартах.....	58
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	70
РОЗДІЛ 4	711

СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ З ПІДВИЩЕНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ	711
4.1. Зміст ідеї проекту	711
4.2. Доступність ІМС для використання в електронній системі.....	744
4.3. Проведення експериментів зі зміною параметрів для отримання кращої ефективності	755
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	844
РОЗДІЛ 5	86
РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	86
5.1. Опис ідеї проекту	86
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
5.3 Аналіз ринкового потенціалу для старту стартап-проекту.....	86
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	91
ВИСНОВКИ.....	92
Список використаної літератури	93
ДОДАТОК А.....	94

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

EMC	Електромагнітна сумісність
EMЗ	Електромагнітні завади
ЕС	Електронна система
ІМС	Інтегральні мікросхеми
ККД	Коефіцієнт корисної дії
ПЗФ	Протизавадний фільтр
ЕМІ	(англ. electromagnetic interference) вплив завад

ВСТУП

Сучасний світ потребує багато різних пристроїв синтезу та обробки звуку. Багато з них є комбінованими, та мають можливість не тільки створювати звуковий сигнал, а і оброблювати. Одним з таких засобів є електронні системи, які часто в своїй основі містять інтегральні мікросхеми та є вбудованими.

Ця робота націлена на розробку моделі електронної системи забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності на основі інтегральних мікросхем. Запропоновано використання ІМС класу LT.

Електронні системи – це системи, які у вигляді блоку, вузла, приладу, комплексу виконують обробку інформації. Електронною системою може вважатись як однокаскадний підсилювач, так і найскладніша мікропроцесорна система. Складні електронні системи часто складаються з підсистем, оскільки їх не можна описати у вигляді резисторів, транзисторів, конденсаторів тощо.

Під час роботи електронних систем зазвичай відбувається одночасно декілька процесів обробки сигналів, що призводить до розширення їх спектру, якщо при цьому рівень спектральних складників перевищує вимоги норм, то виникає проблема забезпечення ЕМС.

РОЗДІЛ 1

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

1.1 Введення в проблему ЕМС. Основні терміни та визначення

Електромагнітна сумісність (ЕМС) (electromagnetic compatibility — ЕМС) технічних засобів – це здатність технічних засобів одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з достатньою якістю під впливом на них зовнішніх електромагнітних завад та не створювати недопустимих електромагнітних завад іншим технічним засобам [1].

Вимоги забезпечення ЕМС охоплюють майже усі електротехнічні, радіоелектронні засоби від іграшок та побутових приладів до різних національних, міжнародних та космічних радіоелектронних систем. Проблема ЕМС охоплює рівні: елементної бази (компонентів) – вузлів – блоків – пристроїв комплексів – систем – міжсистемному рівні [2].

Прикладів негативних проявів внаслідок відсутності ЕМС, окрім наведених в передмові, є ще безліч із різних галузей діяльності людства. Тому проблема є актуальною для розробників і користувачів конкретних пристроїв (*внутрішньоапаратна ЕМС*), а також розробників і користувачів корпоративних, національних, міждержавних систем (*міжсистемна ЕМС*).

Як приклад, можна пояснити зростання рівнів та спектру завад в електричній мережі широким застосуванням в телекомунікаційних, аудіо-, відеотехнічних та інших радіоелектронних приладах, комп'ютерній техніці джерел вторинного електроживлення ключового типу (імпульсних), які є

теперішнім часом одними з найбільш поширених джерел електромагнітних завад, а також застосуванням електричної мережі для передавання сигналів.

Глобальний характер проблеми ЕМС вимагає компетенції міжнародних установ, наприклад Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) – International electrotechnical commission (IEC); Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) – International Telecommunication Union (ITU) та ін. [1].

Умовно можна визначити *п'ять аспектів* проблеми ЕМС: *інженерний, економічний, захисту інформації, маркетинговий та біологічний*. З'ясуємо кожен з них окремо:

1. *Інженерний аспект* полягає в тому, що фахівець повинен знати, які задачі необхідно формулювати для забезпечення ЕМС та як їх розв'язати. Для цього він повинен:

- опанувати вимоги до забезпечення ЕМС;
- бути обізнаним з нормативною базою;
- вміти застосовувати технічні заходи і засоби для забезпечення ЕМС;
- мати навички вимірювання характеристик і параметрів, пов'язаних з ЕМС.

2. *Економічний аспект* полягає в тому, що розробляти і застосовувати засоби забезпечення ЕМС необхідно на початкових стадіях проектування апаратури – тоді кількість засобів *майже необмежена*, а витрати *мінімальні*. В процесі розробки радіоелектронної апаратури необхідно зважати на вимоги електромагнітної сумісності. Існує Міждержавний стандарт ГОСТ 28934 «Совместимость технических средств электромагнитная. Содержание раздела технического задания в части электромагнитной совместимости», який треба *враховувати на етапі розроблення* технічного завдання для проектування будь-якої радіоелектронної апаратури або системи.

Будь-які помилки щодо застосування засобів ЕМС легше скорегувати на початкових стадіях розроблення, на наступних стадіях така процедура вимагає

набагато більше зусиль та коштів або є взагалі неможлива і тоді апаратура *непрацездатна* (рис. 1.1).

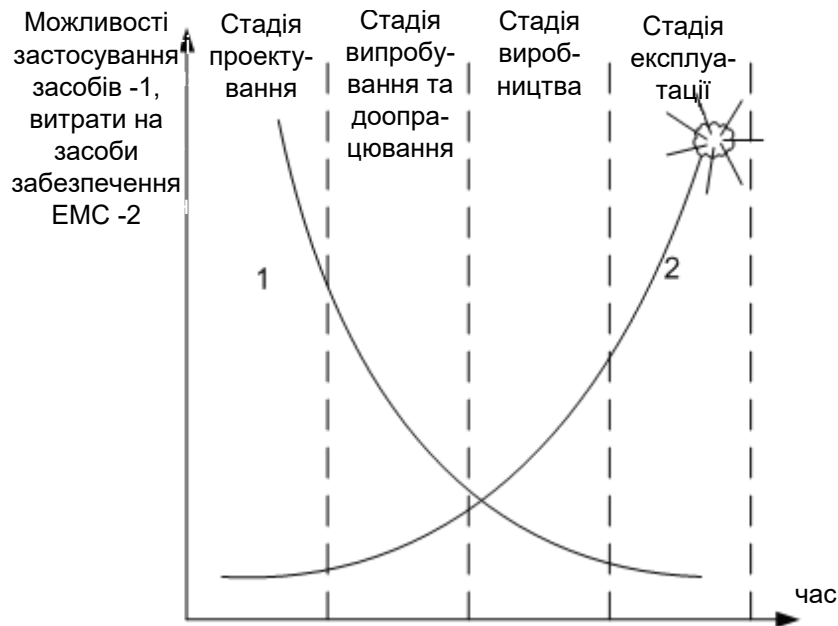


Рисунок 1.1 – До пояснення економічного аспекту проблеми EMC [1].

За узагальненими орієнтовними даними витрати на засоби забезпечення EMC на стадії проектування становлять (1 – 5)% бюджету розробки, тоді як на стадії доопрацювання ці витрати можуть складати вже до 50% вартості.

Охарактеризуємо основні етапи розроблення електронних систем (ЕС).

1. Стадії проектування, випробування та доопрацювання:

- розроблення структурної (функціональної) схеми;
- розроблення схеми електричної принципової;
- розроблення конструкторської документації дослідного зразка;
- виготовлення дослідного зразка;
- випробовування дослідного зразка;
- підготовка документації дослідної серії;
- виготовлення дослідної серії;

- випробування дослідної серії;

2. Стадія виробництва:

- виготовлення документації продукції;
- виготовлення продукції;
- випробування продукції (маркування знаком **CE**);

3. Стадія експлуатації.

3. *Аспект захисту інформації* полягає в забезпеченні захисту від несанкціонованого доступу через кондуктивне та навколишнє середовище. В сучасній діяльності людини існує загроза доступу до конфіденційної інформації із застосуванням спеціальних технологій, без згоди її власника.

4. *Маркетинговий аспект* полягає в тому, що Директива ЕМС Європейського парламенту за номером 2004/108/ЕС вимагає виконувати тестування за вимогами забезпечення ЕМС будь-яких електричних, електронних, радіоелектронних приладів, апаратури та систем, інакше ринок країн ЄС їх не сприйматиме. Зокрема знак **CE** на електронних засобах означає те, що даний виріб пройшов випробування та відповідає нормам, що зазначені у відповідних Європейських стандартах з ЕМС та електробезпеки.

5. *Біологічний аспект* полягає в можливому негативному впливі електромагнітної енергії на здоров'я людей та інші біологічні об'єкти. У зв'язку з цим у світі розроблено регламентувальні документи, що встановлюють допустимі норми електромагнітних випромінень для людей. Так, в Україні розроблено «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» – 1996 [2].

Таким чином, як впливає з визначення поняття ЕМС (161-01-07) ця проблема має два складники (рис. 1.2).

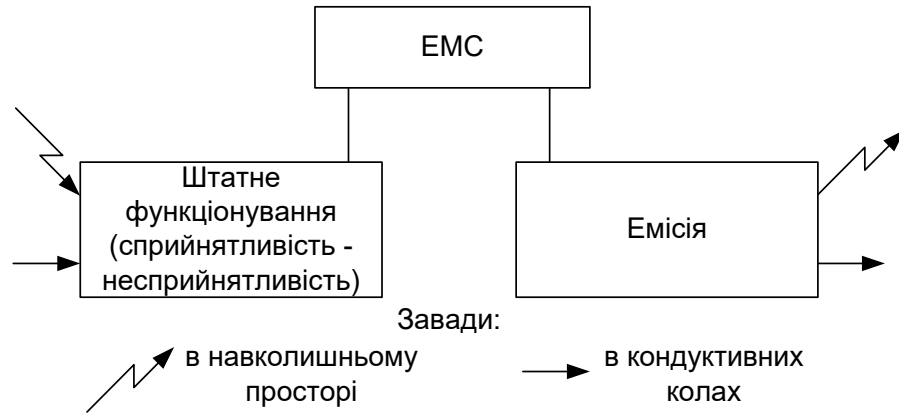


Рисунок 1.2 – Узагальнене представлення проблеми забезпечення EMC [1].

Перший – це забезпечення *штатного функціонування* апаратури в умовах завад, або проблема забезпечення *несприйнятливості* (immunity) апаратури.

161-01-20 *несприйнятливість (до збурення)* (immunity (to a disturbance)) – спроможність пристрою, обладнання чи системи функціонувати без погіршення якості робочих характеристик за наявності електромагнітного збурення;

Цю властивість також визначають через протилежне поняття – *сприйнятливість* (susceptibility).

161-01-21 *(електромагнітна) сприйнятливість* (susceptibility) – неспроможність пристрою, обладнання чи системи працювати без погіршення якості робочих характеристик за наявності електромагнітного збурення;

Другий – це забезпечення такої ситуації, що *збурення*, які створюють електронні та електричні засоби і поширюють через навколишній простір та провідні елементи (кабелі, шасі, уземлювачі тощо) *не перевищують* допустимих рівнів, тобто це проблема *емісії* (emission) (рис. 1.3) *Емісія* – термін, який узагальнює будь-яким чином здійснення виходу енергії.

161-01-08 *емісія (електромагнітна)* (emission (electromagnetic)) – електромагнітне явище, за якого електромагнітна енергія емісує від джерела [1].

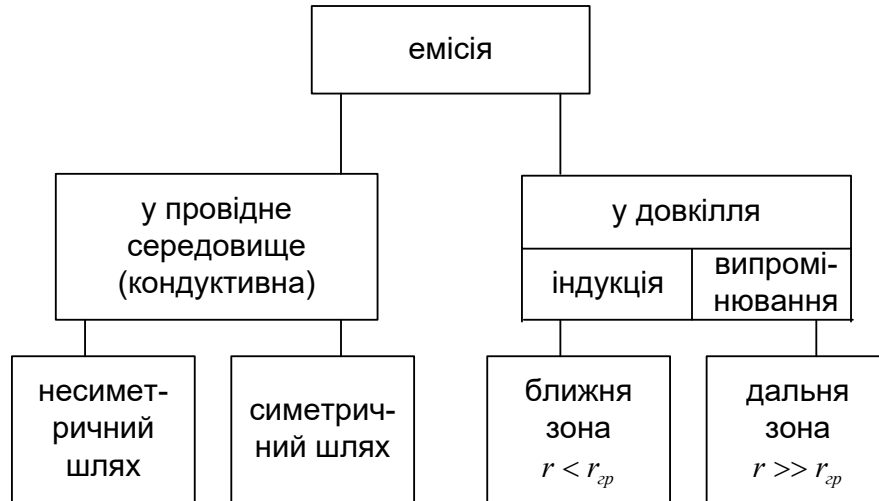


Рисунок 1.3 – Види та середовище емісії

Ця енергія може поширюватись в навколишньому просторі: в *ближній зоні* внаслідок явища *індукції*, в *дальній зоні* внаслідок *випромінювання*.

Ближня зона $r < r_{zp}$ (зона *індукції*), де для елементарних випромінювачів

$$r_{zp} = \frac{\lambda}{2\pi} \text{ та для інших } r_{zp} = \frac{2l^2}{\lambda}$$

де l – максимальний розмір будь-якого випромінювача;

λ – довжина хвилі:

$$\lambda = v / f ,$$

де $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ – швидкість поширення електромагнітної хвилі;

f – несуча частота;

ϵ – діелектрична проникність;

для вільного простору $\epsilon = \epsilon_0 = (1/36)\pi 10^{-9} \text{ Ф/м}$;

μ – магнітна проникність;

для вільного простору $\mu = \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Дальня зона $r \gg r_{zp}$ (зона випромінювання).

В провідному середовищі – це кондуктивна емісія, або кондуктивне збурення [3].

161-03-27 **кондуктивне збурення** (conducted disturbance) – електромагнітне збурення, за якого енергія поширюється через один або декілька провідних елементів (*примітка авт.* – провідники, металеві конструкції, засоби уземлення тощо) [1].

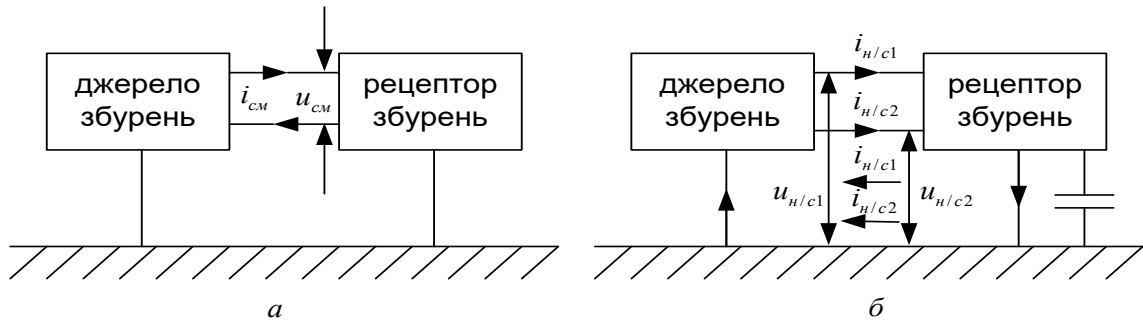


Рисунок 1.4 – Кондуктивний шлях поширення завад:

а – симетричний, *б* – несиметричний

Кондуктивний шлях може бути *симетричним* (рис. 1.4а) та *несиметричним* (рис. 1.4б):

Симетричний (differential mode) – це шлях між прямим та зворотнім провідниками, цей шлях зазвичай детермінований.

Несиметричний (common mode) – шлях між кожним із провідників та “землею” – зазвичай складно визначити цей шлях (тому більш складний для розробників), бо він може бути реалізований також через паразитні зв’язки (ємності, індуктивності, загальний активний опір) [1].

Узагальнено шляхи поширення електромагнітних збурень наведено на рис. 1.5:

1 – *кондуктивний* (провідники, шасі, різноманітні струмопровідні частини, системи уземлення, “земля” тощо);

2 – навколишній простір;

3 – комбінований 1-2;

4 – комбінований 2-1.

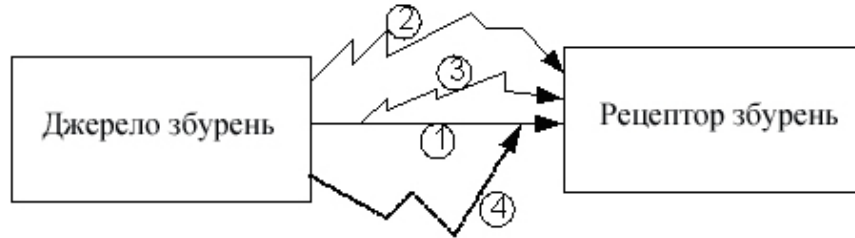


Рисунок 1.5 – Шляхи поширення електромагнітних збурень

Об’єкти стосовно проблеми ЕМС: джерело електромагнітних збурень – середовище поширення (із зазначенням видів зв’язку на цьому шляху) – приймальний (сприйнятливий, чутливий) пристрій (рецептор) наведено на рис. 1.6,

де u_3 – напруга завади,

h_{ef} – ефективна висота антени.

Джерело	Характер зв’язку			Рецептор
гальванічний	ємнісний	індуктивний	лінія передачі	випромінення в довкіллі
$u_3 = Ri + L \frac{di}{dt}$	$u_3 = f(C_{12}, \frac{du}{dt})$	$u_3 = M_{12} \frac{di}{dt}$	$u_3 = f(Z_{12}, \frac{di}{dx}, \frac{du}{dx})$	$u_3 \approx \dot{E} h_{ef}$
Ближня зона (індукції) ($r < r_{zp}$)			Дальня зона (електромагнітної хвилі) ($r \gg r_{zp}$)	

Рисунок 1.6 – Види зв’язку джерела та рецептора збурень

Джерелами електромагнітних збурень є *природні* явища (nature) або *штучні* (man-made).

161-01-23 **джерело електромагнітного збурення; емітер** (emitter (of electromagnetic disturbance) – пристрої, обладнання або системи, змінення напруг, струмів чи електромагнітних полів яких може діяти як електромагнітне збурення [1].

Деякі джерела електромагнітних збурень наведено на рис. 1.7.

Окрім джерел електромагнітного збурення (завади) та шляху її поширення є основний об'єкт триади – сприймальний пристрій, якому завада створює проблему - хибне функціонування або вихід з ладу.

161-01-24 **сприймальний пристрій; рецептор** (susceptible device) – пристрій, обладнання або система, робоча якість функціонування якого може погіршитись внаслідок електромагнітного збурення [2].

Деякі рецептори електромагнітних збурень наведено на рис. 1.8.

Як впливає з наведеного вище проблема ЕМС стосується конкретних приладів (апаратів) і виникає за умов функціонування різних систем. Тому слід визначати завади між системами і безпосередньо в приладі, системі.

161-01-15 **міжсистемна завада** (inter-system interference) – електромагнітна завада в одній системі, зумовлена електромагнітним збуренням, яке створює інша система [3].

161-01-16 **внутрішньосистемна завада** (intra-system interference) – електромагнітна завада в системі, зумовлена електромагнітним збуренням, що створює та сама система [4].

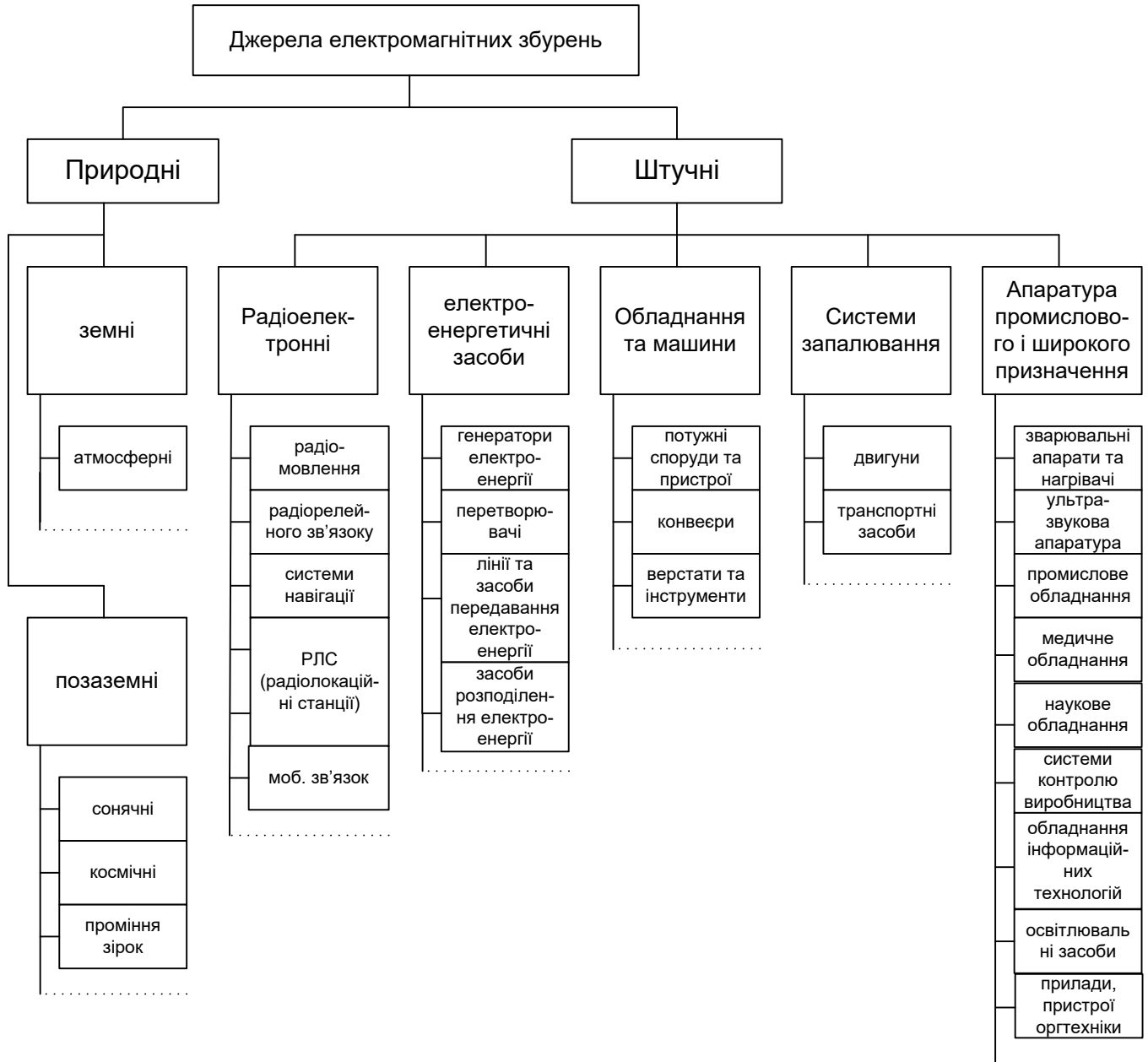


Рисунок 1.7 – Деякі джерела електромагнітних збурень (завод)

1.2 Загальні відомості щодо електромагнітних завад

Електромагнітна завада (ЕМЗ) (electromagnetic disturbance) – електромагнітне явище, яке погіршує чи може погіршувати якість функціонування ТЗ(електронної мережі, приладів та пристроїв користувачів). Рівень ЕМЗ – значення величини завади, виміряне в регламентованих умовах [5].

Електромагнітні збурення можна поділити на: штучні та природні; станційні та індустриальні; умисні та неумисні (рис. 1.8) [1]. Нагадаємо, що електромагнітні збурення, які погіршують якість функціонування обладнання, каналу передавання чи системи мають назву електромагнітні завади. Серед природних збурень найпоширенішими є блискавки (частоти до 10 МГц) та космічні явища (частоти вище 10 МГц). До речі, кожної секунди в атмосфері Землі до 100 блискавок.

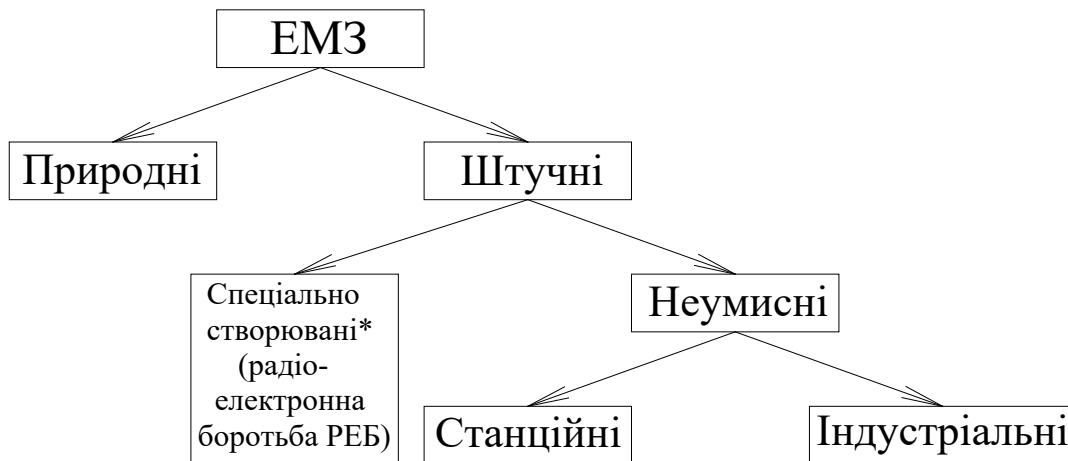


Рисунок 1.8 – Види електромагнітних збурень (завад)

Умисні завади створюють засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) – їх застосовують збройні сили, спецслужби тощо (вони не є об'єктом даної дисципліни).

Спрощену, але більш докладну класифікацію неумисних ЕМЗ наведено на рис. 1.8. Коментарі щодо класифікації пропонуються нижче.

За джерелом завади:

станційна – створена радіостанцією, телевізійною станцією тощо, які випромінюють збурення, яке інші користувачі можуть сприймати через антену як заваду;

індустріальна – створена електротехнічними, радіоелектронними (крім випромінювання передавача через високочастотний (ВЧ) тракт) або електронними пристроями;

природна – створена джерелом природного походження (блискавка, космічне випромінювання тощо);

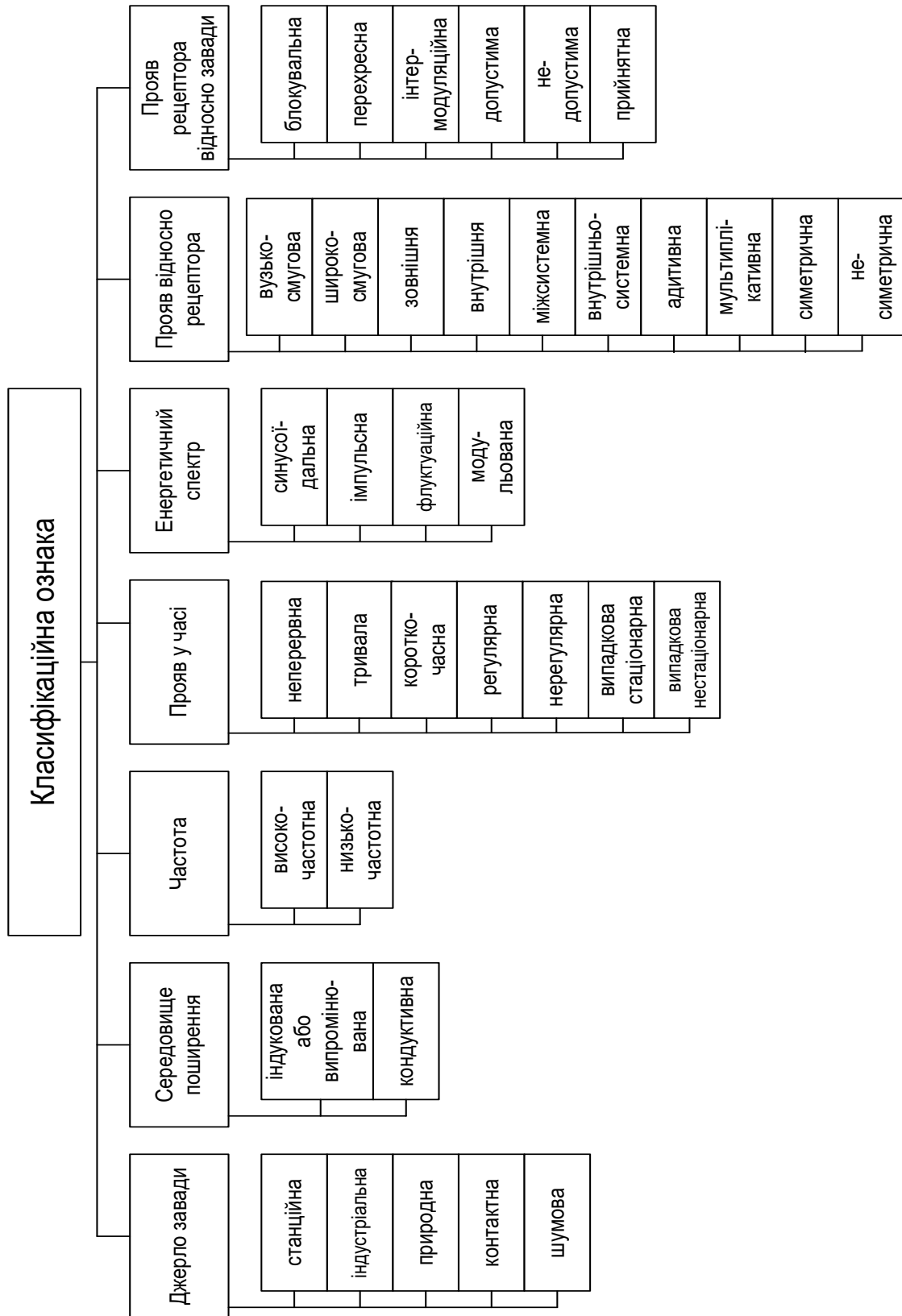
контактна – створена в результаті впливу електромагнітного поля радіопередавача на струмопровідний механічний контакт зі змінним опором, який є перевипромінювачем електромагнітного поля;

шумова – джерелом є компоненти апаратури, що створюють внутрішні шуми і, до речі, – визначають *чутливість*.

За середовищем поширення:

індукована або *випромінювана* – завади, які поширюється в навколишньому просторі (середовищі);

кондуктивна – завада, яка поширюється в провідних середовищах.



Частотна ознака:

низькочастотна – завада на частотах до 9 кГц включно;

високочастотна – завада на частотах вище 9 кГц.

Рисунок 1.9 – Класифікація ЕМЗ

За проявом завади в часі:

неперервна – рівень завади не зменшується нижче визначеного граничного значення за час не менший 1 с;

тривала – час дії завади більше 1 с;

короткочасна – час дії завади менше 1 с;

регулярна – завада має місце і зникає через однакові або майже однакові проміжки часу;

нерегулярна – поява і зникнення завади відбувається через різні проміжки часу;

випадкова стаціонарна – час появи завади має випадкову природу, але завада виникає без суттєвих змін в часі;

випадкова нестаціонарна – час появи завади має випадкову природу, завада виникає з суттєвими змінами в часі.

За енергетичним спектром:

синусоїдальна;

імпульсна;

флуктуаційна (шум) – спектр є наближено постійною величиною в границях АЧХ системи за умов реєстрації за порівняно великий проміжок часу;

модульована – станційна завада, енергетичний спектр якої визначає регламентований вид модуляції і відповідний клас випромінювання.

За проявом завади відносно рецептора:

вужькосмугова – ширина спектру завади менше або дорівнює ширині пропускання рецептора;

широкосмугова – ширина спектру завади більше ширині пропускання рецептора;

зовнішня – джерело завади поза рецептором;

внутрішня – джерело завади всередині рецептора;

внутрішньосистемна – джерело всередині системи;

міжсистемна – джерело завади всередині системи, що не стосується системи, яку досліджують;

адитивна – завада, що додається до корисного сигналу

мультиплікативна – завада, що накладається на комплексну структуру обвідної корисного сигналу;

симетрична – завада між двома затискачами джерела індустриальних завод або між провідниками мережі електроживлення рецептора;

несиметрична – між затискачами джерела індустриальних завод і землею.

За проявом рецептора відносно завади:

блокувальна – проявом є зміна коефіцієнту підсилення сигналу, який приймають, і або) відношення сигнал/шум, вона виникає в нелінійному тракті приймача за умов дії сигналу, який заважає, і частота якого є поза смугою пропускання приймача;

перехресна – проявом є змінення структури сигналу, який приймають, і виникає в нелінійному тракті приймача внаслідок модульованого сигналу, який заважає, частота якого є поза смугою пропускання приймача;

інтермодуляційна – завада у смузі частот пропускання приймача, яка виникає в його нелінійному тракті за умов перетворення двох або більше сигналів, які заважають, і частоти, що є поза смугою пропускання приймача [1];

допустима – дія завади не знижує якість функціонування пристрою;

недопустима – дія завади знижує якість функціонування пристрою;

прийнятна – дія завади знижує якість функціонування пристрою до рівня, задовільного в конкретно заданих умовах.

Стосовно завод від радіопередавальних, телевізійних систем тощо ці питання необхідно вивчати більш докладно.

За ДСТУ-Н-IEC Guide 107:2005 «Електромагнітна сумісність. Настанова щодо розроблення нормативних документів» визначають такі основні типи електромагнітних збурень:

1. Кондуктивні низькочастотні явища:

- гармоніки, інтергармоніки;
- сигнали, які передають в силових лініях;

- флуктуаційні напруги;
 - провали і переривання напруги;
 - небаланс (несиметричність) напруги;
 - змінення частоти мережі;
 - наведені низькочастотні напруги;
 - сталий складник в мережі змінного струму;
2. Явища низькочастотної емісії в навколишньому середовищі (випромінення):
- магнітні поля:
 - 1) неперервні;
 - 2) перехідні процеси;
 - електричні поля;
3. Кондуктивні високочастотні явища:
- наведені напруги або струми:
 - 1) неперервні хвилі;
 - 2) модульовані хвилі;
 - однонаправлені перехідні процеси (одиначні або повторювані (пакети імпульсів));
 - коливальні перехідні процеси;
4. Явища високочастотного випромінювання:
- магнітні поля;
 - електричні поля;
 - електромагнітні поля:
 - 1) неперервні хвилі;
 - 2) модульовані хвилі;
 - 3) перехідні процеси (одиначні або повторювані);
5. Електростатичні розряди;
6. Електромагнітний імпульс високої інтенсивності внаслідок ядерного вибуху.

1.3 Проблема захисту від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації

В галузі, пов'язаною з проблемою забезпечення ЕМС є проблема захисту від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації. Проблема обумовлена фізичним явищем індукції (в ближньому полі) та випромінюванням (в дальньому полі). Узагальнено це, так зване, явище побічних електромагнітних випромінювань та наведень (ПЕМВН) [1]. До речі, термін *побічні* – є некоректним, бо співпадає з поняттям побічних частот випромінювання радіоприймачів, але в даному сенсі побічні випромінювання, це усі випромінювання небажаних частот. Отже, внаслідок індукції та випромінювання є можливість застосування спеціальних засобів несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації. Це стосується інформації державних установ, силових структур, служби безпеки держави, комерційних структур (банків, фірм, установ тощо). В сучасних умовах політичної відкритості суспільства, інтенсивного розвитку підприємницької діяльності тощо, ця проблема набуває надзвичайно актуальний характер [3].

У США з кінця 60-х років двадцятого сторіччя застосовують термін-аббревіатуру TEMPEST (Telecommunications Electronics Material Protected from Emanating Spurious Transmission), як назву спеціальної програми Міністерства оборони США щодо розробки методів запобігання витоку інформації системою провідників та в навколишній простір. Нині цей термін має багато варіантів розкриття аббревіатури, наприклад, «Transient ElectroMagnetic Pulse Emanation STandard». Навіть з'явилися нові поняття TEMPEST-атака, TEMPEST-апарати підслуховування тощо, але це вже деяка некоректність. Термін TEMPEST слід застосовувати лише для визначення заходів із запобігання витоку інформації.

Найбільш поширеною системою формування, оброблення та передавання інформації є комп'ютер з периферійними пристроями як складниками телекомунікаційних та інших систем вищого ієрархічного рівня. На рис. 1.10 показана поширена структура з'єднань інформаційної системи на базі

персонального комп'ютера із периферією, які також є джерелами паразитної емісії (в кондуктивних колах та в навколишньому просторі).

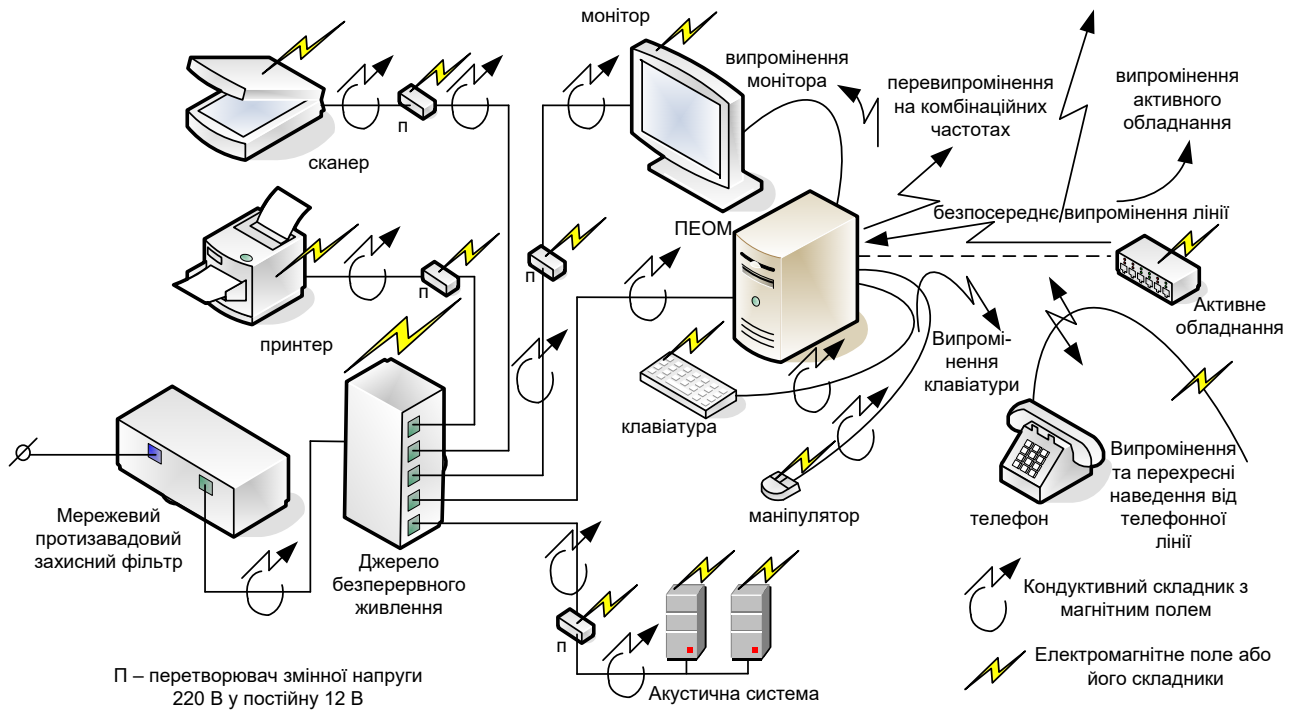


Рисунок 1.10 – Інформаційна система як джерело й рецептор ЕМЗ

На рис. 1.11 показано варіанти з'єднання приладів стосовно: *а* – сигналів, які можуть сприйматись як завади, *б* – реалізації електромагнітного перехоплення.

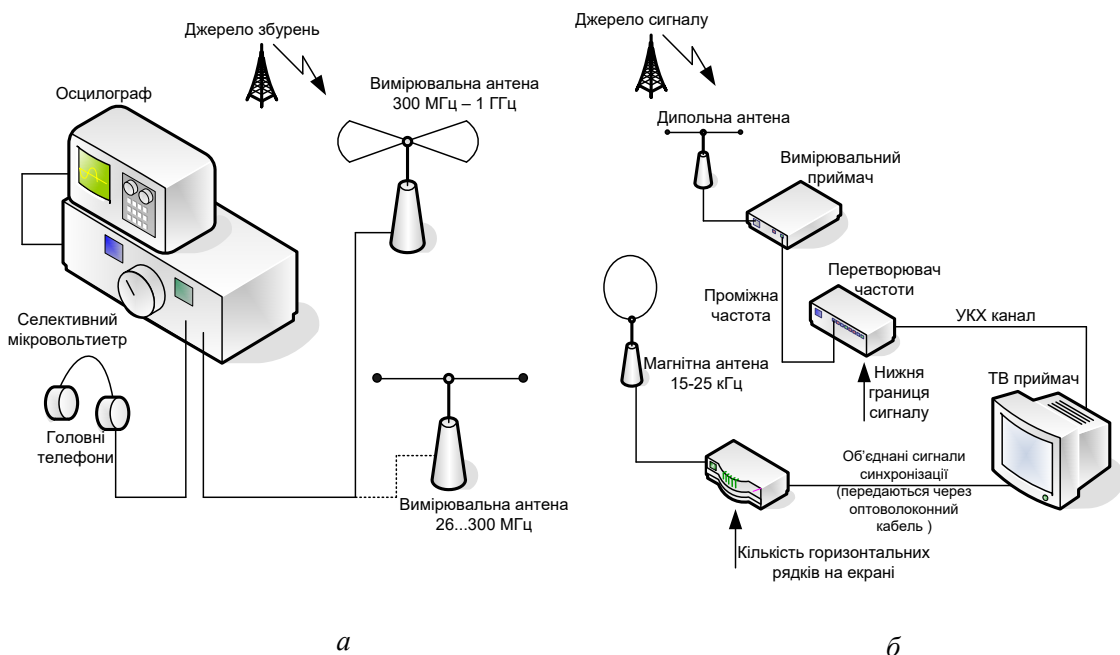


Рисунок 1.11 – Варіанти з'єднання приладів для: *а* – вимірювання збурень (завад) у просторі, *б* – електромагнітного перехоплення

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Під час виконання роботи проведено дослідження електромагнітної сумісності та впливу електромагнітних завад. Відповідно до розділу 1 можна зробити наступні висновки:

1. Проблема ЕМС має глобальний характер.
2. ЕМЗ існують незалежно від бажання розробника та користувача, тому уникнути необхідності забезпечення ЕМС неможливо.
3. Проблему ЕМС характеризують п'ять аспектів: інженерний, економічний, захисту інформації, маркетинговий, біологічний.
4. Заходи та засоби забезпечення ЕМС слід опрацьовувати на початковій стадії проектування приладів та систем.
5. Об'єктами вивчення стосовно ЕМС є джерело завад; середовище поширення; рецептор.
6. Шляхів поширення завад є два: кондуктивний (симетричний, несиметричний), та у навколишньому просторі в ближній (індукції) та дальній (електромагнітної хвилі) зонах.
7. Неумисні електромагнітні завади поділяють на природні та штучні.
8. Для забезпечення ЕМС застосовують інженерно-технічні та організаційно-адміністративні засоби та заходи.
9. Проблема ЕМС також охоплює засоби захисту від несанкціонованого доступу до інформації.
10. Важливим аспектом проблеми ЕМС є біологічний в зв'язку з інтенсивним розвитком технічних засобів, які створюють магнітні, електричні та електромагнітні поля, й можуть негативно впливати на людину та інші біологічні об'єкти.

Отже, отримано необхідну інформацію щодо важливості забезпечення електромагнітної сумісності.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

2.1. Поняття про електронну систему та її характеристики

Слово «система» (англ. system) походить від грецького „складений” і означає групу різних предметів, які об’єднані так, що утворюють одне ціле та функціонують злагоджено та підпорядковані єдиній формі керування [6].

Це означення також можна застосувати й до електронної системи (ЕС) в її загальному вигляді: сукупність електронних компонентів, які пов’язані між собою та діють як єдине ціле завдяки спеціальним сигналам керування і виконують необхідну функцію.

Таким чином, електронна система (англ. electronic system) – це будь-який електронний вузол, блок, прилад або комплекс, що виконує обробку інформації.

В такому випадку, будь-який пристрій (від однокаскадного підсилювача до найскладнішої мікропроцесорної системи) може розглядатися як електронна система. Але між мікропроцесорною системою та однокаскадним підсилювачем є суттєва різниця в плані опису деталей кожної із систем. Мікропроцесорну систему у вигляді компонентів опорів, конденсаторів, транзисторів, якими описується підсилювач, описати майже неможливо. Тому для опису такої системи потрібно виконати групування ряду компонентів у функціональні блоки. Такий функціональний блок носить назву чорний ящик або підсистема [6].

Електронна підсистема (англ. electronic subsystem) – це частина системи, до складу якої входить більше одного елементу (проміжний елемент поділу системи) і яка має певне функціональне призначення нижчого рівня, ніж система [6].

Чорний ящик характеризується його функцією, а не внутрішньою структурою або принципом дії. Крім цього, і саму систему можна розглядати як чорний ящик, який виконує певну функцію або навіть набір функцій. Узагальнена електронна система у вигляді чорного ящика, призначеного для обробки вхідних і видачі вихідних сигналів, наведена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Узагальнена схема електронної системи як чорний ящик

Елемент електронної системи – це неподільна частина системи.

Часто виникає проблема одночасно мати інформацію про сотні або тисячі одно- і (або) різнорідних фізичних величин, яку потрібно отримати без участі людини, використовуючи технічні засоби, які є досить складними автоматичними системами [6].

Під автоматизацією розуміють використання пристрою, який за заданою програмою без участі людини виконує всі операції в отриманні, перетворенні, передачі й розподіленні енергії, матеріалів та/або інформації [6].

Автоматизована електронна система (англ. automated electronic system) – це сукупність керованого об'єкта та автоматичних пристроїв, у якій частину функцій керування виконує людина (оператор) [6].

Автоматична електронна система (англ. automatic electronic system) – це сукупність керованого об'єкта і автоматичних пристроїв, що виконують певну задачу згідно із заданою програмою без участі людини [6].

За призначенням автоматичні системи поділяються на наступні класи:

- інформаційно-вимірювальні;
- контролю;
- ідентифікації або розпізнавання образів;
- керування.

Будь-яка система характеризується вирішуваною нею задачею, швидкодією, гнучкістю та надмірністю [6].

Задача (англ. task) – це набір функцій, виконання яких потрібно від електронної системи.

Швидкодія (англ. speed) – це показник швидкості виконання електронною системою її функцій.

Гнучкість (англ. flexibility) – це здатність системи налаштовуватися під різні задачі.

Надмірність (англ. excessiveness) – це показник ступеня відповідності можливостей системи до розв'язуваної даною системою задачі.

Задачі, що вирішує ЕС, відображають мету її функціонування. Досягається ця мета за допомогою вирішення конкретних функціональних задач. Функціональні задачі зручно розділити на чотири рівні [6].

Перший рівень: задачі збору та попередньої обробки інформації (англ. information). До них відносять:

- квантування аналогових сигналів за часом та рівнем;
- попередню цифрову чи аналогову фільтрацію сигналів;
- перетворення та обчислення спектрів;
- нормалізацію, підсилення чи послаблення сигналів;
- зміну рівнів сигналів;
- перетворення струму в напругу [6].

Другий рівень:

- геометричні перетворення систем координат;
- визначення змінних параметрів вимірюваних процесів;
- сумісне розв’язування лінійних та нелінійних систем рівнянь;
- рішення систем диференціальних рівнянь;
- інтерполяція та екстраполяція функцій, що обчислюються;
- цифро-аналогові перетворення [6].

Третій рівень: розв’язування задач обробки інформації. До таких задач відносять задачі оптимізації, тобто пошуку екстремумів деякої функції чи декількох змінних, на які накладено певні обмеження [6].

Четвертий рівень: розв’язування задач подання інформації в зручному для сприйняття оператором вигляді [6].

2.2 Класифікація електронних систем

Вхідними та вихідними *сигналами* (англ. *signal*) електронної системи можуть бути *аналогові сигнали* (англ. *analog signal*), одиничні *цифрові сигнали* (англ. *digital signal*), цифрові коди, послідовності цифрових кодів. Відповідно системи можуть бути аналоговими, цифровими або комбінованими, тобто аналого-цифровими [7].

Якщо система аналого-цифрова, то вхідні аналогові сигнали перетворюються в послідовності кодів вибірок за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), а вихідні аналогові сигнали формуються з послідовності кодів вибірок за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Обробка й зберігання інформації виконуються в цифровому вигляді.

За своєю будовою електронні системи поділяють на системи на “жорсткій логіці” та мікропроцесорні системи.

Характерною особливістю традиційної цифрової системи на відміну від мікропроцесорної є те, що алгоритми обробки й зберігання інформації в ній жорстко зв'язані зі схемотехнікою системи. Тобто, зміна цих алгоритмів можлива тільки шляхом зміни структури системи, заміни електронних вузлів, що входять у систему, і/або зв'язків між ними. Саме тому традиційна цифрова система часто називається системою на "жорсткій логіці" [7].

Будь-яка система на "жорсткій логіці" обов'язково є спеціалізованою системою, налаштованою винятково на одну задачу або (рідше) на декілька близьких, заздалегідь відомих задач. Це має свої безперечні переваги [6].

По-перше, спеціалізована система (на відміну від універсальної) ніколи не має апаратної надмірності, тобто кожен її елемент обов'язково працює на повну потужність (звичайно, якщо ця система грамотно спроектована) [6].

По-друге, саме спеціалізована система може забезпечити максимально високу швидкодію, тому що швидкість виконання алгоритмів обробки інформації визначається в ній тільки швидкодією окремих логічних елементів й обраною схемою шляхів проходження інформації. А саме, логічні елементи завжди мають максимальну на даний момент швидкодію [6].

Але в той же час великим недоліком цифрової системи на "жорсткій логіці" є те, що для кожної нової задачі її необхідно проектувати й виготовляти заново. Це процес тривалий, дорогий та потребує високої кваліфікації виконавців. Шлях подолання цього недоліку досить очевидний: необхідно побудувати таку систему, що могла б легко адаптуватися під будь-яку задачу, перебудовуватися з одного алгоритму роботи на інший без зміни апаратури. І задавати той або інший алгоритм шляхом уведення в систему додаткової керуючої інформації, програми роботи системи (рис. 2.2). Тоді система стане універсальною або програмованою, не жорсткою, а гнучкою. Саме це й забезпечує мікропроцесорна система [6].

Мікропроцесор (англ. *microprocessor*) – програмно-керований пристрій, призначений для обробки цифрової інформації й керування процесом цієї обробки, виконаний у вигляді однієї (або декількох) інтегральної схеми з високим ступенем інтеграції електронних елементів [7].

Зменшення вартості, споживаної потужності й габаритних розмірів, підвищення надійності й продуктивності мікропроцесорів сприяли значному розширенню сфери їхнього використання. Поряд із традиційними обчислювальними системами вони все частіше стали використовуватися в задачах керування та обробки. При цьому перед мікропроцесором ставилася задача програмного управління різними периферійними об'єктами в реальному масштабі часу [7].

Спрощена структурна схема мікропроцесорної системи управління має вигляд (рис.2.2).

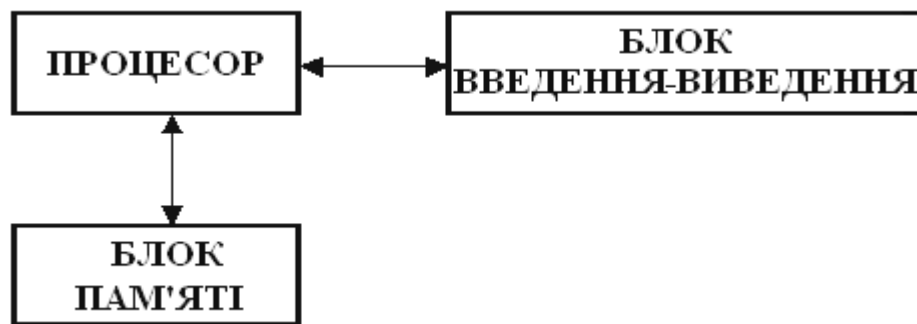


Рисунок 2.2 – Структурна схема мікропроцесорної системи

На процесор покладається задача виконання всіх програмних дій, необхідних відповідно до алгоритму роботи пристрою. У блоці пам'яті зберігаються команди програми функціонування процесора, а також значення констант і змінних величин, що беруть участь в обчисленнях. Блок введення-виведення виконує функцію з'єднання мікропроцесорної системи з об'єктом керування [7].

Широке використання мікропроцесорної техніки саме для завдань керування привело до появи на ринку спеціалізованих мікропроцесорних пристроїв, орієнтованих на подібного роду застосування. Особливістю цих мікросхем є те, що крім власне процесора, на цьому ж кристалі розташована й система введення-виведення, що дозволяє знизити функціональну складність і габаритні розміри мікропроцесорної системи керування. Подібні пристрої називаються мікроконтролерами [7].

Мікроконтролер (англ. *microcontroller*) – обчислювально-керуючий пристрій, призначений для виконання функцій логічного контролю й керування периферійним устаткуванням, виконаний у вигляді однієї ВІС, що сполучає в собі мікропроцесорне ядро і набір вбудованих пристроїв введення-виведення [7].

У сучасній перетворювальній техніці мікроконтролери виконують не тільки роль безпосереднього керування напівпровідниковим перетворювачем за рахунок вбудованих спеціалізованих периферійних пристроїв, але й роль цифрового регулятора, системи захисту й діагностики, а також системи зв'язку з технологічною мережею вищого рівня [7].

Останнім часом з'явився ряд мікроконтролерів, спеціалізованих для завдань керування напівпровідниковими перетворювачами. Їхнє обчислювальне ядро, побудоване, як правило, на базі так званих "процесорів цифрової обробки сигналів", адаптовано на виконання рекурентних поліноміальних алгоритмів цифрового регулювання. Вбудовані периферійні пристрої містять у собі багатоканальні генератори ШІМ-сигналів, аналого-цифрові перетворювачі, блоки векторних перетворень координат, таймери-лічильники тощо. Прикладами таких пристроїв можуть служити мікроконтролери ADMC330 фірми Analog Devices, TMS320C240 фірми Texas Instruments, 56800 фірми Motorola, векторний співпроцесор ADMC200 фірми Analog Devices [7].

Але будь-яка універсальність обов'язково призводить до надмірності. Адже вирішення максимально важкої задачі потребує набагато більше засобів, ніж розв'язання максимально простої задачі. Тому складність універсальної системи повинна бути такою, щоб забезпечити розв'язання найважчої задачі, а при розв'язанні простої задачі система буде працювати далеко не на повну силу, буде використовувати не всі свої ресурси. І чим простіша розв'язувана задача, тим більша надмірність і тем менш виправданою стає універсальність. Надмірність веде до збільшення вартості системи, зниження її надійності, збільшення споживаної потужності й т. д. [7].

Крім того, універсальність, як правило, призводить до істотного зниження швидкодії. Оптимізувати універсальну систему необхідно так, щоб кожна нова

задача розв'язувалася максимально швидко. Загальне правило таке: чим більша універсальність, гнучкість, тим менша швидкодія. Більше того, для універсальних систем не існує таких задач, які б вони розв'язували з максимально можливою швидкістю [7].

Таким чином можна зробити такий висновок. Системи на "жорсткій логіці" ефективні там, де розв'язувана задача не змінюється тривалий час, де потрібна найвища швидкодія, де алгоритми обробки інформації гранично прості. А універсальні, програмовані системи ефективні там, де часто змінюються розв'язувані задачі, де висока швидкодія не є занадто важливою, де алгоритми обробки інформації досить складні [6].

Однак за останні десятиліття швидкодія універсальних (мікропроцесорних) систем дуже виросла (на кілька порядків). До того ж великий обсяг випуску мікросхем для цих систем привів до різкого зниження їхньої вартості. У результаті область застосування систем на "жорсткій логіці" різко звузилася. Більш того, високими темпами розвиваються зараз програмовані системи, призначені для розв'язання одної задачі або декількох близьких задач. Вони вдало об'єднують у собі як переваги систем на "жорсткій логіці", так і програмованих систем, забезпечуючи досить високу швидкістю й необхідну гнучкість [6].

В науково-технічній літературі системи, що використовують у своєму складі ЕОМ в залежності від області їх застосування, а також від класу задач, які розв'язуються ними, називаються комп'ютерними або комп'ютеризованими системами.

Таким чином, *комп'ютеризовані системи* (англ. *computer aided system*) – це системи, під якими розуміють сукупність технічних засобів, яка має в своєму складі керуючу ЕОМ, засоби збору, перетворення, передачі, відображення, а також спеціальне математичне та програмне забезпечення, що виконує весь комплекс обробки інформації [7].

Вважається, що ЕОМ треба вводити до складу автоматичної системи тоді, коли кількість отриманої інформації стає дуже великою, а обробка інформації ускладнюється або стає занадто тривалою у часі й не відповідає вимогам або

швидкодії системи. В таких системах передбачені підсистеми мультиплексування інформації, вимірювальні канали та канали зв'язку [7].

Узагальнена схема комп'ютеризованої системи наведена на рис. 2.3.

Вимірювальний канал (англ. *measuring channel*) – це засіб вимірювання, який є складовою частиною вимірювальних систем у вигляді сукупності засобів вимірювальних операцій, засобів (каналів або ліній) зв'язку для послідовних перетворень і передачі вимірювальної інформації.

Канал зв'язку (англ. *channel of communication*) – це сукупність передавача, приймача та лінії зв'язку, призначених для передачі інформації від відправника (джерела) до адресата [7].

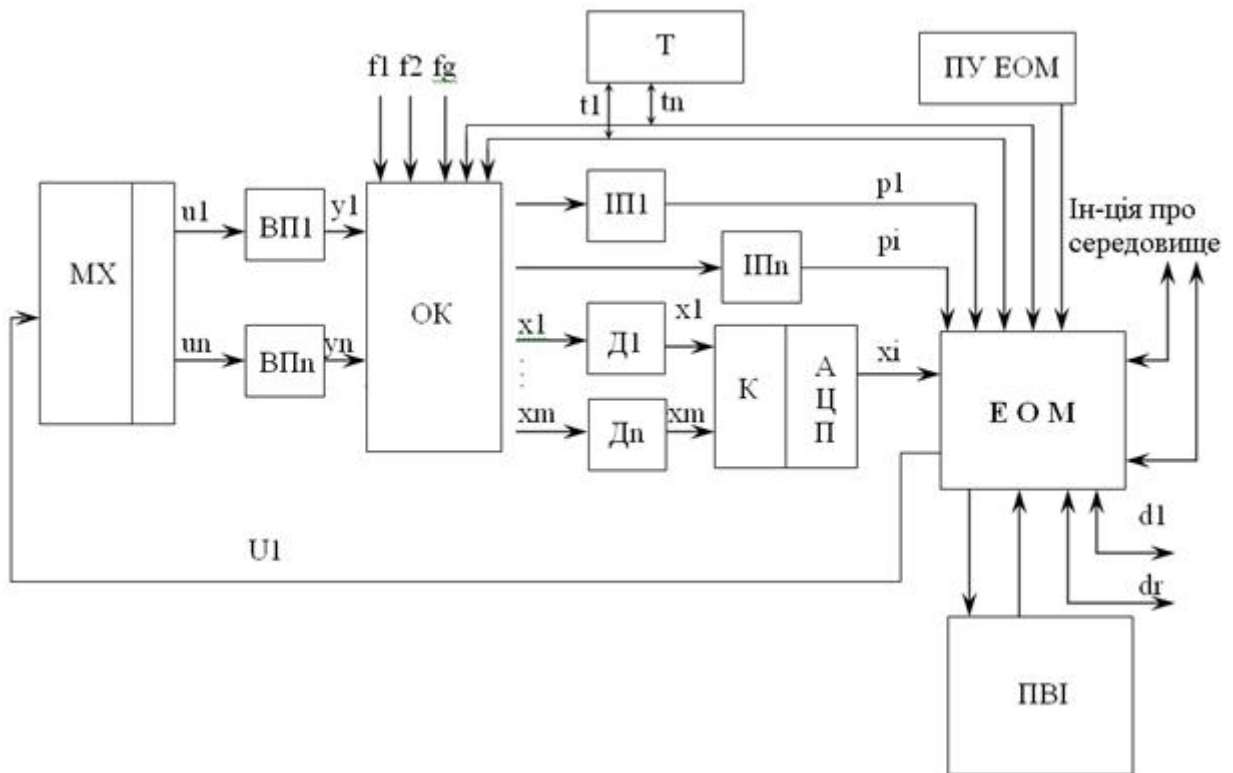


Рисунок 2.3 – Узагальнена схема комп'ютеризованої системи:

МХ – мультиплексор; ОК – об'єкт керування (дослідження);

Д1, Дn – датчики; Xi, Xп – інформація; ВП – виконавчий пристрій;

ІП – індикатори повідомлень; u1, un – сигнал керування; Т – таймер;

ПУ ЕОМ – пульт управління ЕОМ; ПВІ – пристрій

відображення інформації.

Лінія зв'язку (англ. *communication line*) – це фізичне середовище, по якому передаються сигнали.

Програмований канал зв'язку або інтерфейс (англ. *interface*) – це узгодженість обміну інформацією та правил обміну інформацією, під якою розуміють електричну, логічну й конструктивну сумісність пристроїв, що беруть участь в обміні [7].

2.3. Приклади електронних систем

Більшість сучасних електронних систем є вбудованими. Робот, такий як марсохід, є вбудованою системою. Стільниковий телефон, PDA, портативний мультимедіа програвач є вбудованими пристроями. Навіть електрична зубна щітка являє собою вбудовану систему. Невеликий мікроконтролер у зубній щітці забезпечує програмне керування швидкістю й індикацію стану заряду батареї. Сучасні автомобілі можуть містити понад сто вбудованих мікроконтролерів. У цілому вбудовані системи складають більшу частину світового виробництва мікропроцесорів [6].

Як видно з таблиці 2.1, вбудовані системи можна знайти в різноманітних продуктах, включаючи літаки і військові системи, біомедицинські системи, автомобілі, комунікації, комп'ютерні пристрої, електронні інструменти, домашня електроніка, промислове устаткування, офісні машини, персональні пристрої, роботи та інтелектуальні іграшки. Вбудовані електронні системи можна знайти всюди [6].

Конструктори вбудованих систем часто зіштовхуються зі складними проектними задачами, оскільки вони повинні бути надійними. Багато з них не можуть підлягати ремонту і не можуть бути перезавантажені. Програмне забезпечення неможливо оновити в багатьох вбудованих пристроях. Багато систем мають жорсткі конструкційні обмеження за продуктивністю і споживанням енергії. Деяким системам необхідно працювати від батареї тривалий період часу. У багатьох застосуваннях існують обмеження реального часу і багато систем мають обмежену пам'ять і обчислювальну потужність [7].

Таблиця 2.1 – Приклади вбудованих систем

Авіаційні та військові системи	Автопілоти літаків, авіоніка і навігаційні системи, системи автоматичної посадки, системи наведення, керування двигуном
Біомедицинські системи	Системи комп'ютерної томографії й ультразвукового дослідження, моніторинг пацієнтів, кардіостимулятори
Автомобілі	Керування двигуном, антиблокувальні гальмові системи, керування подушками безпеки, керування системою обігріву і кондиціонування повітря навігація GPS, супутникове радіо, системна діагностика
Комунікації	Комунікаційні супутники, мережні маршрутизатори, комутатори, концентратори
Споживча електроніка	телевізори, духовки, програвачі DVD, стереосистеми, системи безпеки, керування поливом газонів, термостати, фотокамери, автовідповідачі, TV-декодери
Пристрої комп'ютера	Клавіатури, миші, принтери, сканери, дисплеї, модеми, пристрої жорстких дисків, пристрої DVD, графічні плати, пристрої USB
Електронні інструменти	Системи збору даних, осцилографи, вольтметри, генератори сигналів, логічні аналізатори
Промислове устаткування	Керування ліфтами, системи спостереження, роботи, верстати з ЧПК, програмувальні логічні контролери, промислові системи автоматизації і керування
Офісні машини	факси-апарати, копіри, телефони, калькулятори, касові апарати
Персональні пристрої	стільникові телефони, переносні програвачі MP3, персональні цифрові помічники (PDA), електронні наручні годинники, портативні відеоігри, цифрові камери, системи GPS
Роботи	Промислові роботи, автономні транспортні засоби, космічні дослідницькі роботи
Іграшки	системи відеоігор, іграшки-роботи типу "Aibo", "Furby", "Elmo"

Електронні системи реального часу

Системи реального часу (англ. *real time system*) повинні реагувати на зовнішні параметри введення і створювати нові результати виведення за обмежений час, як показано на рис. 2.4. Час відповіді повинен бути обмежений. Дуже тривалий час відповіді може призвести до відмови систем реального часу [6].

Ілюстративним прикладом системи реального часу є контролер автомобільної повітряної подушки безпеки. Коли сенсори руху повітряної подушки (акселерометри) розпізнають зіткнення, системі необхідно зреагувати, розкриваючи повітряну подушку протягом 10 мс або ж система не спрацює потрібним чином. На високій швидкості із затримкою більш 10 мс водій уже зіштовхнеться з кермовим колесом до того, як розкриється подушка [6].

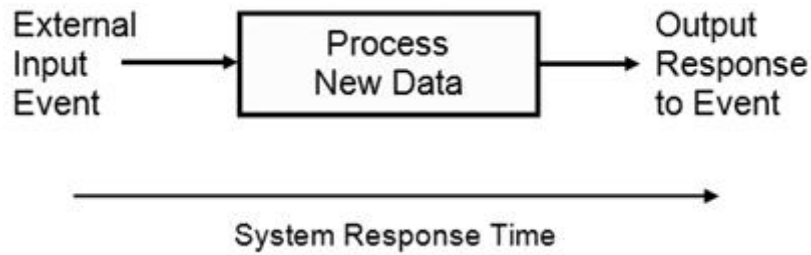


Рисунок 2.4 – Система реального часу

У “м'якій” системі реального часу пріоритети мають критично важливі задачі. М'яка система реального часу зазвичай задовольняє обмеження відгуку реального часу. Прикладом типової м'якої системи реального часу є програвач мультимедіа. Програвач може іноді пропустити відеокадр або аудіозвук і користувач може це навіть не помітити [6].

У жорсткій системі реального часу новий результат виведення завжди повинен бути обчислений у зазначених границях часу або система не спрацює. Як приклад жорсткої системи реального часу розглянемо систему дистанційного керування кермом (тобто, керовану комп'ютером). У системі керування польотом літака, коли льотчик переміщає штурвал керування, рулі керування польотом повинні у відповідь переміститися дуже швидко або ж літак втратить стійкість і впаде. Щоб забезпечити безпеку FAA постійно перевіряє і сертифікує реакцію в реальному часі керованих комп'ютером симуляторів польоту і літаки [6].

Багато вбудованих систем є системами реального часу з декількома входами і виходами. Кілька подій відбуваються незалежно одна від одної. Програмування таких систем спрощується при поділі задач, але це потребує від центрального процесора постійного переключення між різними задачами. Таке переключення та поділ часу процесора між декількома задачами зазвичай забезпечують багатозадачні операційні системи. Вони забезпечують також елементи синхронізації, необхідні для координації дій між різними задачами, що виконуються паралельно [7].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В цьому розділі наведено опис електронних систем та їх застосування. Визначені особливості всіх можливих допоміжних пристроїв.

Електронні систем за будовою можна поділити на системи на «жорсткій логіці» та мікропроцесорні.

Цифрова система відрізняється від мікропроцесорної тим, що зберігання інформації та алгоритми обробки в ній сильно пов'язані зі схемотехнікою системи. Тобто, змінювати ці алгоритми можна тільки шляхом зміни структури системи, заміною електронних вузлів та блоків, які входять в систему, а також зв'язків між ними. Тому традиційна цифрову система часто називають системою на "жорсткій логіці".

Системи на "жорсткій логіці" ефективні в тих випадках, коли задача для розв'язку не змінюється тривалий час і коли потрібна найвища швидкодія, де алгоритми обробки інформації дуже прості. А універсальні, програмовані системи ефективні в тих випадках, коли часто змінюються розв'язувані задачі, коли висока швидкодія є не занадто важливою та алгоритми обробки інформації в задачі досить складні.

РОЗДІЛ 3

ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМИ ПРОЕКТУВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ LTPOWERCAD II

3.1 Стислий опис програми LTPOWERCAD II

Компанія Analog Devices випустила нову версію програми LTpowerCAD II [8], яка дозволяє здійснювати проектування імпульсних джерел живлення на основі ІМС та мікромодулів, що випускаються компанією [9]. Розглянемо стисло її можливості [10]. Для прискорення освоєння цієї програмної середовища Analog Devices пропонує рекомендації по швидкому освоєнню роботи [11] і докладні описи можливостей та порядку роботи з середовищем проектування [12, 13].

Розглянемо коротко основні можливості LTpowerCAD. Після запуску програми відкривається вікно (рис. 3.1), в якому виведені іконки всіх модулів середовища проектування.

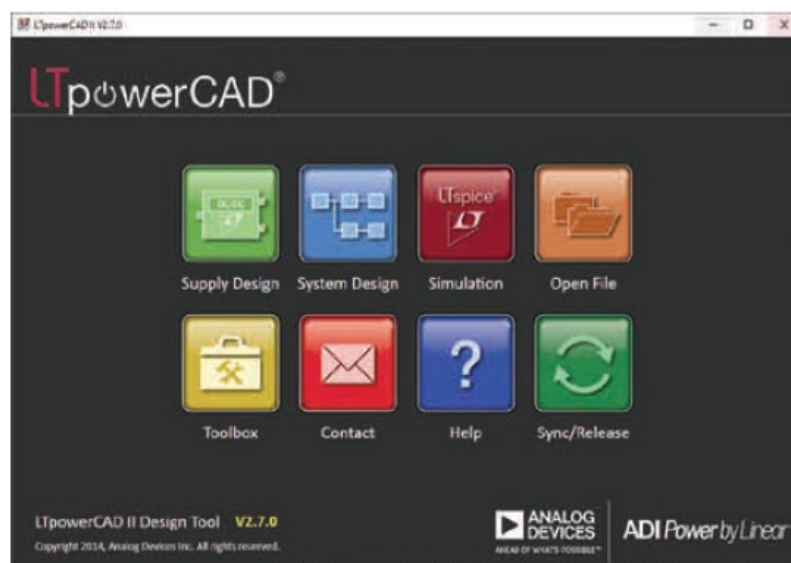


Рисунок 3.1 – Стартове вікно LTpowerCAD

Проаналізуємо призначення кожного модуля в процесі проектування імпульсного джерела живлення. Модуль Supply Design (рис. 3.2) дозволяє задати необхідні параметри джерела живлення. Розглянемо приклад проектування понижуючого перетворювача напруги з наступними параметрами:

- діапазон зміни вхідного напруги від 8 до 40 В
- вихідна напруга 5 В
- струм навантаження 5 А.

Параметри вводяться в верхній частині вікна модуля Supply Design (рис. 3.3).

Топологію перетворювача (Converter Topology) при необхідності можна вибрати зі списку (рис. 3.4), а тип перетворювача (Converter Type) - зі списку на рис. 3.5.

Виберемо для реалізації ІМС LT8640. Після натискання на кнопку Start LTpowerCAD Design Tool в рядку з обраної мікросхемою (рис. 3.3) відкривається вікно з принциповою схемою перетворювача (рис. 3.6).

Біля кожного з пасивних елементів схеми знаходиться невелика табличка, виділена блакитним кольором, в якій наведено необхідні параметри елемента. Програма LTpowerCAD дозволяє вибрати компонент зі своєї бази даних компонентів. Для цього необхідно помістити курсор на зображення елемента (наприклад C_{inB}) і натиснути ліву кнопку "мишки". У вікні (рис. 3.7) виводиться таблиця даних доступних конденсаторів. Рекомендовані типи конденсаторів позначені в таблиці як True. Після подвійного клацання по вибраному конденсатору він вноситься на принципову схему перетворювача. Аналогічно вибирається тип керамічних конденсаторів і котушки індуктивності.

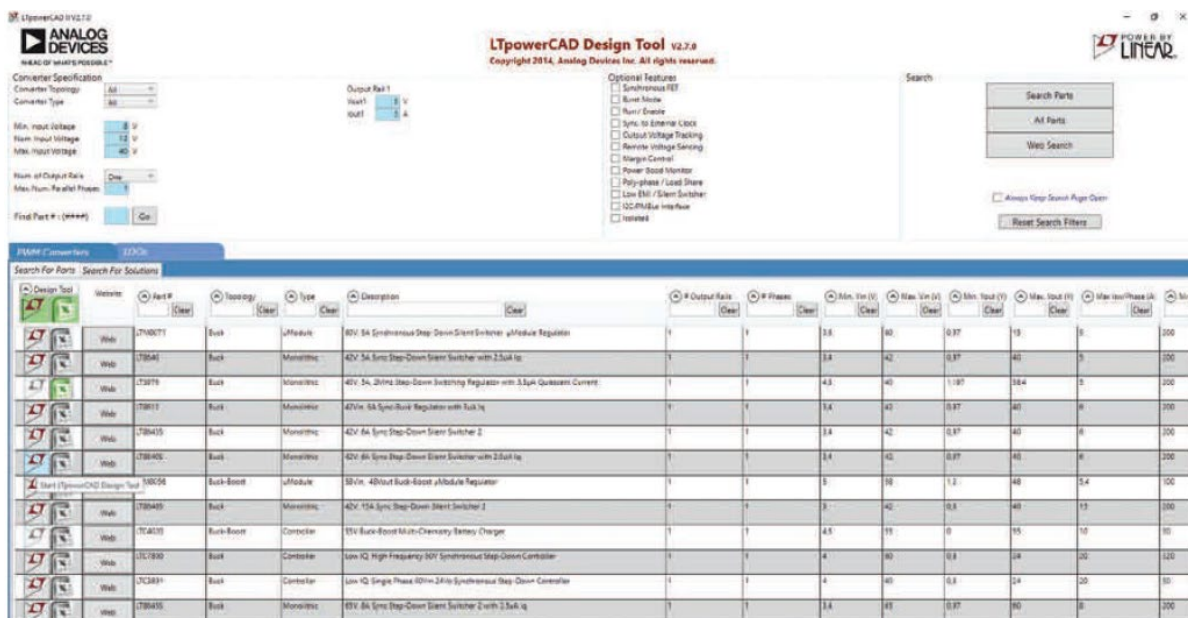


Рисунок 3.2 – Вікно установки параметрів джерела живлення модуля
Supply Design



Рисунок 3.3 – Вихідні дані для проектування джерела живлення

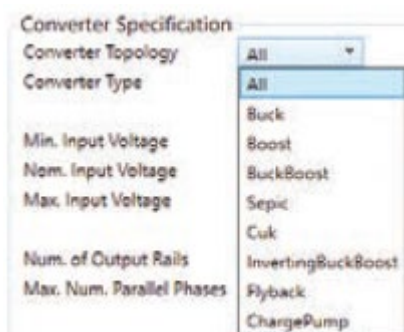


Рисунок 3.4 – Список доступних топологій перетворювачів

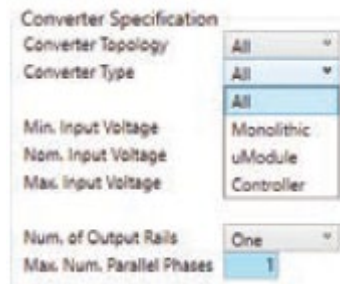


Рисунок 3.5 – Перелік доступних типів перетворювачів

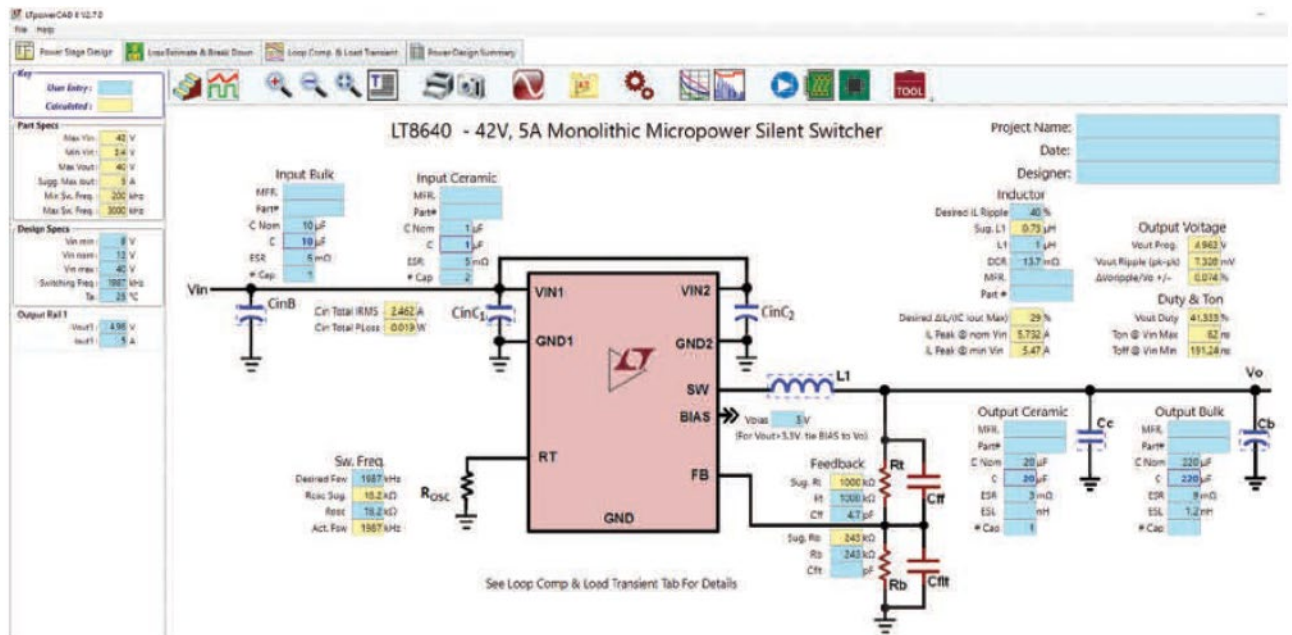


Рисунок 3.6 – Вікно Power Stage Design з принциповою схемою понижуючого перетворювача на базі ІМС LT8640

Схема перетворювача з внесеними даними про типи пасивних компонентів наведена на рис. 3.8. Параметри вихідної напруги і напруги пульсацій вказані в правій частині схеми: $V_{outProg} = 4.962 \text{ В}$, $V_{out \text{ Ripple (pk-pk)}} = 26.694 \text{ мВ}$. Там же зазначені і параметри імпульсів управління при вхідній напрузі 12 В і частоті комутації силових ключів 1987 кГц (рис. 3.8).

Розглянемо, які параметри перетворювача і які додаткові функції реалізує програма LTpowerCAD. На рис. 9 наведено меню вікна Design (рис. 3.6). Розглянемо більш докладно деякі пункти меню.

При виборі пункту Lost Estimate & Break Down (рис. 3.9) відкривається вікно (рис. 3.10), в якому відображаються графіки залежності ККД і потужності, що розсіюється від струму навантаження. Крім графіків в лівій

частині вікна наведено значення розсіюваною потужності при вхідній напрузі 12 В, залежність температури котушки індуктивності від розсіюється на ній потужності, потужність, що розсіюється на котушці, і інші параметри. Наведемо деякі з цих параметрів при струмі навантаження 5 А:

- опір котушки постійному струму 16 мОм
- $\Theta_{wa} = 43.5 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$
- потужність, що розсіюється на котушці, 0.41 Вт при $T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
- потужність, споживана від джерела живлення, 27.179 Вт
- вихідна потужність 24.8 Вт
- потужність, що розсіюється на елементах перетворювача, 2.379 Вт
- ККД 91.25%.

CAPACITOR Library

Show All Show Suggested

Key: Built-in Parts User Parts

Show Only AEC-Q Parts

All Parts User Parts

Vendor	Name	Capacitance (pF)	C @ 100V rms (pF)	WV. to Equal Cap.	Area Each (mm ²)	Tot. Area to Equal Cap. (mm ²)	ESR(mΩ)	ESL(nH)	max(Pd)	Vmax (V)	Type	Case	Length	Width	Height	Diam (mm)	Foot
MURATA	DCM33ECT1H100K403	10	8.9	0.12	0	0	1.7	0.264	5.4	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.5	2.5		True
MURATA	GM1210T1100K412	10	8.4	0.08	0	0.3	1.9	0.260	3	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.5	2.7		False
TDK	C3216X941H100K40348	10	8.1	0.22	0.12	0.3	2.2	1.03	4.85	50	CERAMIC X5R	1209	3.2	1.6	1.8		False
TDK	CG4SLX91H100M180348	10	8.1	0.23	0.12	0.3	2.3	1.05	3.37	50	CERAMIC X5R	1208	3.2	1.6	1.9		True
TDK	C3225X701H100M2304C	10	8.9	0.12	0	0	2.3	1.14	3.48	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.3	2.8		False
TDK	C3225X731H100K23548	10	8.4	0.16	0	0.3	2.3	1.22	4.89	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.3	2.8		False
TDK	CG4BP1X11H100K23048	10	8.0	0.16	0	0.3	2.3	1.21	4.89	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.3	2.8		True
TDK	C3225X901H100K23048	10	8.9	0.12	0	0	2.4	1.14	3.5	50	CERAMIC X5R	1210	3.2	2.3	2.8		False
TDK	C5750X91H100K2304A	10	8.9	0.12	0.3	0.9	2.7	1.83	3.54	50	CERAMIC X5R	2220	5.7	5	2.5		False
TDK	C5750X91H100K2304B	10	8.9	0.13	0.3	0.9	2.7	1.83	3.54	50	CERAMIC X7R	2220	5.7	5	2.5		False
TDK	CG4BLX91H100K23048	10	8.9	0.12	0.3	0.9	2.7	1.83	3.54	50	CERAMIC X7R	2220	5.7	5	2.5		True
TDK	C5750X701H100K2304B	10	10	0	0.3	0.3	3.3	1.87	4.88	100	CERAMIC X7R	2220	5.7	5	2.5		False
TDK	CG4BP1X13A100K23048	10	10	0	0.3	0.3	3.3	1.87	4.88	100	CERAMIC X7R	2220	5.7	5	2.5		True
AVX	12062100K4724	10	8.1	0.23	0.12	0.3	4	0.85	3.3	50	CERAMIC X7R	1206	3.2	1.6	1.9		False
AVX	1710C100K4724	10	8.7	0.11	0	0.3	4	0.86	3.3	50	CERAMIC X7R	1210	3.2	2.3	2.7		False

Рисунок 3.7 – Таблиця даних полярних конденсаторів

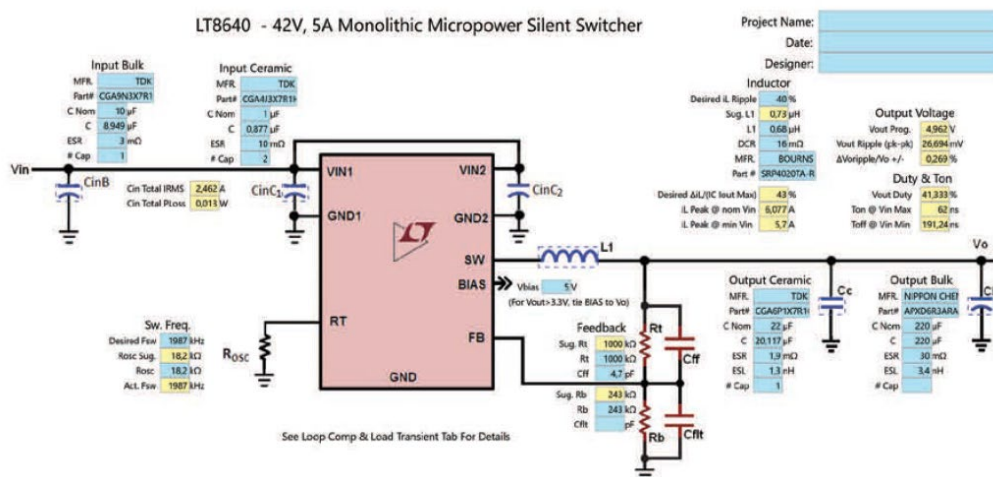


Рисунок 3.8 – Схема перетворювача на базі ІМС LT8640 з внесеними даними про типи пасивних компонентів



Рисунок 3.9 – Призначення кнопок меню вікна Design

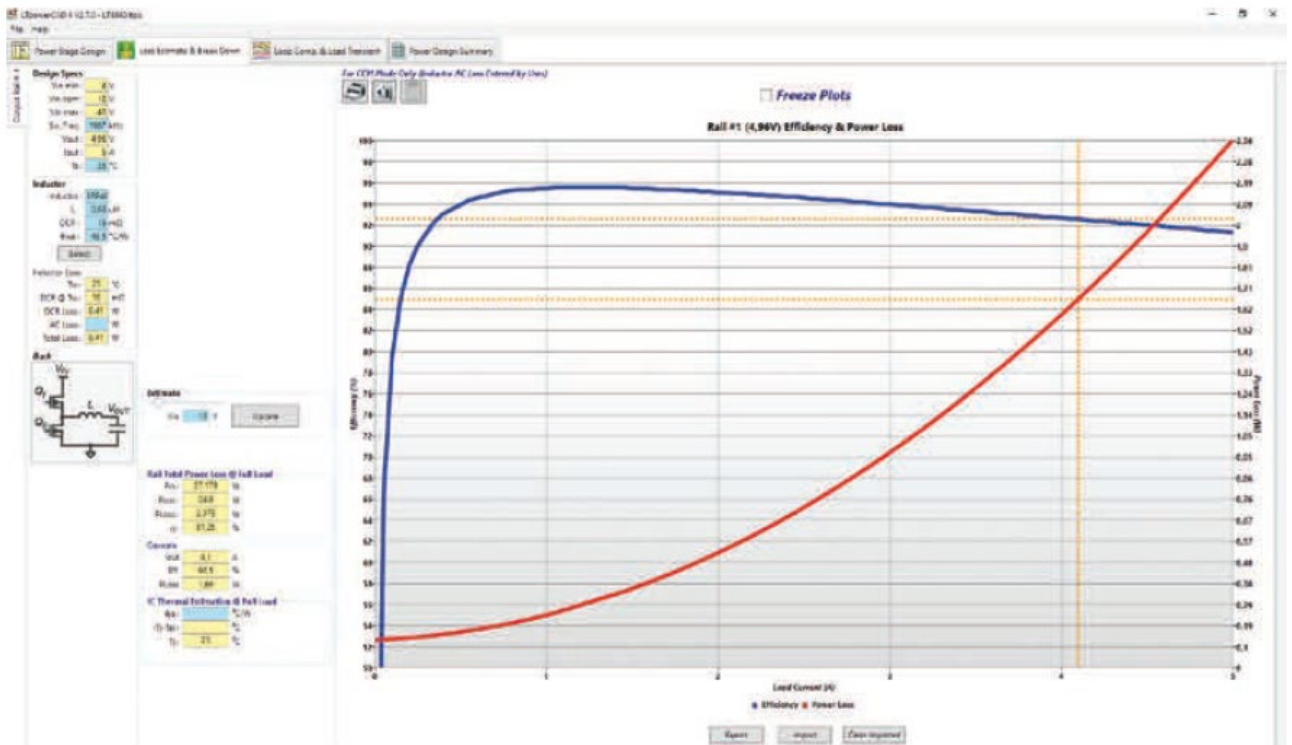


Рисунок 3.10 – Залежності ККД і потужності, що розсіюється від струму навантаження

Використовуючи курсор, можна визначити ККД і розсіюється потужність в будь-якій точці графіка. Крім того, можна отримати значення параметрів при інших значеннях вхідної напруги. Пересуваючи покажчик Estimate (рис. 3.10) або вписавши в віконце V_{in} , можна встановити значення вхідної напруги в діапазоні від 8 до 40 В. Автоматично здійснюється перерахунок всіх параметрів перетворювача. Наприклад, при вхідній напрузі 40 В і струмі навантаження 5 А ККД перетворювача складає 84.56%, а при вхідній напрузі 8 В - 91.49%.

Після натискання кнопки Залежності параметрів від вхідної напруги (рис. 3.9) відкривається вікно (рис. 3.11), в якому наведені графіки залежностей:

- струму через котушку індуктивності (пікового, середньоквадратичного і амплітуди пульсацій)
- середньоквадратичного значення струму через вхідний конденсатор
- середньоквадратичного значення струму через вихідний конденсатор.

Відмінною особливістю нової версії програми LTpowerCADII від попередньої версії є наявність утиліти проектування заводознижуючого фільтра. Після натискання кнопки EMI Filter Design (рис. 3.9) відкривається вікно з принциповою схемою фільтра придушення ЕМЗ, функціональною схемою вимірювання кондуктивних перешкод і графіком залежності рівня електромагнітних завад (ЕМЗ) від частоти, наведене на рис. 3.12.

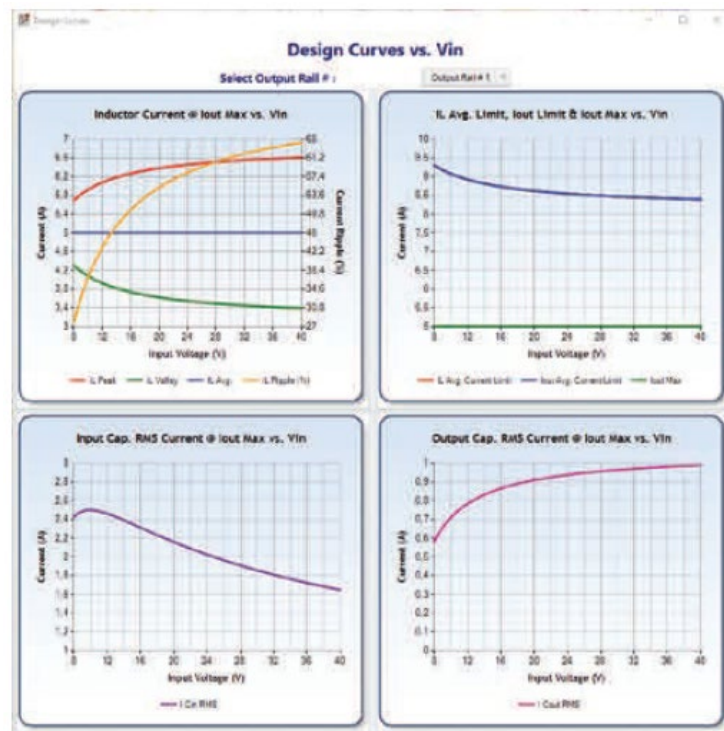


Рисунок 3.11 – Графіки залежностей струму через пасивні компоненти від величини вхідної напруги

3.2 Вимірювання параметрів протишумного фільтра

Вимірювання параметрів протишумного фільтра (ПЗФ) виконують з використанням еквівалента мережі. Користувачеві надається можливість вибрати стандарт вимірювання рівня кондуктивних завад в вікні EMI Specifications: CISPR22, CISPR25 або MIL-STD-461F. За замовчуванням на рис. 3.12 червоним кольором показані межі допустимого рівня ЕМЗ за стандартом CISPR22. Як впливає з рис. 3.12, на частоті 720 кГц і 2 МГц спостерігаються викиди в спектрі ЕМЗ, що пояснюється високою добротністю коливального

контур, утвореного котушкою індуктивності і конденсатором фільтра C_f . Зменшити викид можна, змінивши опір резистора R_dA . При зменшенні опору добротність контуру знижується і викид буде зменшуватися.

Перш ніж прийняти рішення - змінювати чи не змінювати опір резистора R_dA , виберемо пасивні компоненти фільтра і поставимо запас по обмеженню рівня ЕМЗ у 6 дБ, значення якого потрібно ввести в віконці EMI Margin Desired. Щоб графік спектра відобразився з урахуванням внесених змін, необхідно поставити "пташку" в віконці Use Suggested Values. А щоб побачити, як виглядає спектр ЕМЗ без застосування фільтра, необхідно поставити "пташку" в віконці Show EMI Without Input Filter (рис. 3.12).

За аналогією з вибором компонентів у вікні проектування перетворювача необхідно зробити вибір котушки і конденсаторів фільтра. результат, отриманий після цих операцій, наведено на рис. 3.13. Як випливає з рисунка, отриманий результат задовольняє вимогам стандарту CISPR22 за рівнем ЕМЗ. За відсутності ПЗФ (графік чорного кольору) рівень завод набагато перевищує допустимі межі.

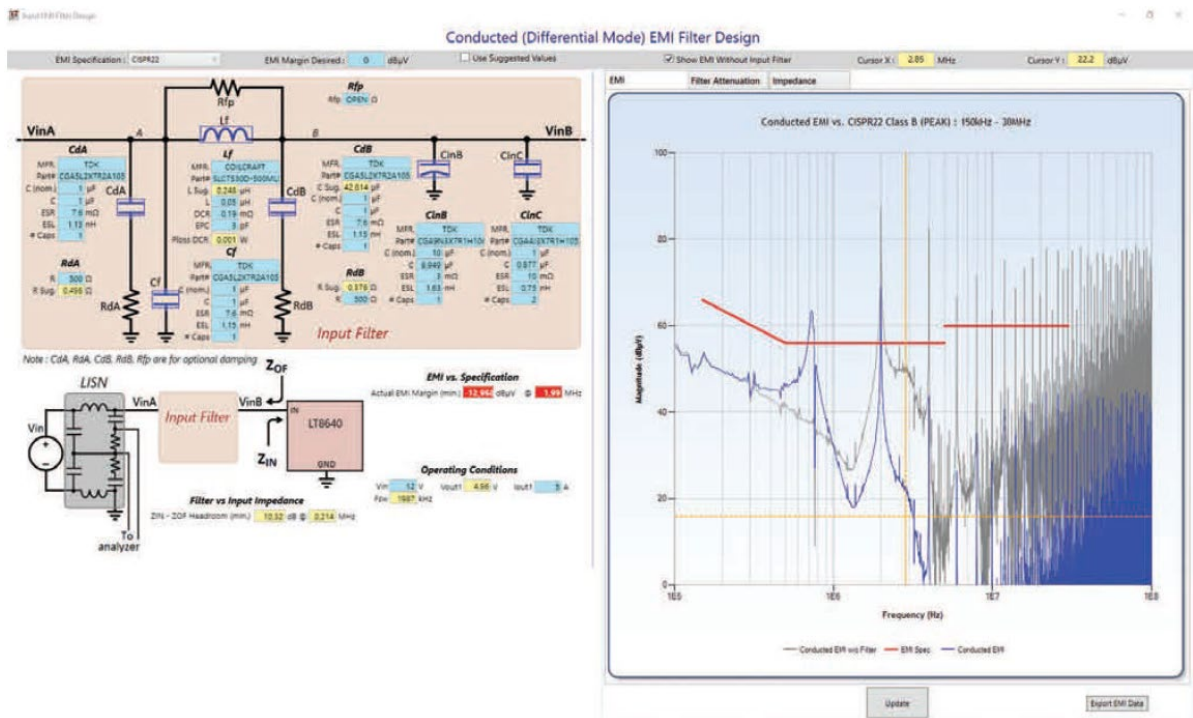


Рисунок 3.12 – Вікно Input EMI Filter Design с результатами проектування фільтра

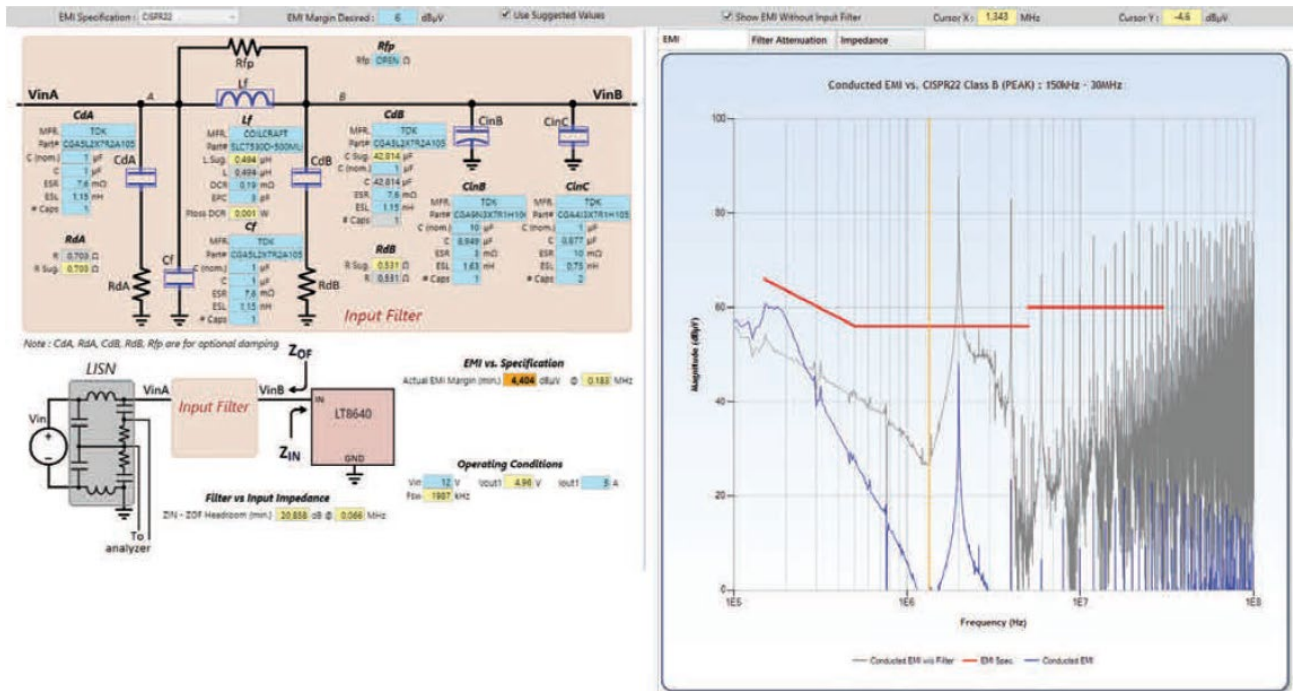


Рисунок 3.13 – Вікно Input EMI Filter Design з результатами проектування фільтра після вибору компонентів фільтра при вимірюванні за стандартом CISPR22

Крім спектра завад можна отримати інформацію щодо АЧХ фільтра, натиснувши кнопку Filter Attenuation, і про залежність вхідного опору фільтру від частоти, натиснувши кнопку Impedance. АЧХ фільтра і залежність вхідного опору від частоти приведені на рис. 3.14 і 3.15, відповідно.

При установці стандарту вимірювання EM3 MIL-STD-461F значення індуктивності котушки встановлюється автоматично рівне нулю. Графіки залежності EM3 від частоти, АЧХ і вхідного опору фільтра наведені на рис. 3.16-3.18, відповідно.

Так як в складі фільтра залишилися тільки конденсатори і внутрішній опір перетворювача, то в області частот до 5 кГц АЧХ лінійна, а на більш високих частотах спадає зі швидкістю 6 дБ / октаву. Вхідний опір практично не залежить від частоти. Рівень EM3 не перевищує допустимих значень крім викиду 0.9 дБ на частоті 2 кГц. Для усунення викиду необхідно збільшити запас

по загасанню (EMI Margin Desired). Для зниження рівня ЕМЗ досить збільшити ємність конденсатора C_f до 2 мкФ. Однак, зробити це шляхом вибору необхідної ємності з бази елементів програми неможливо. Доступні тільки конденсатори різного типу ємністю 1 мкФ, тому підключають 2 паралельно.

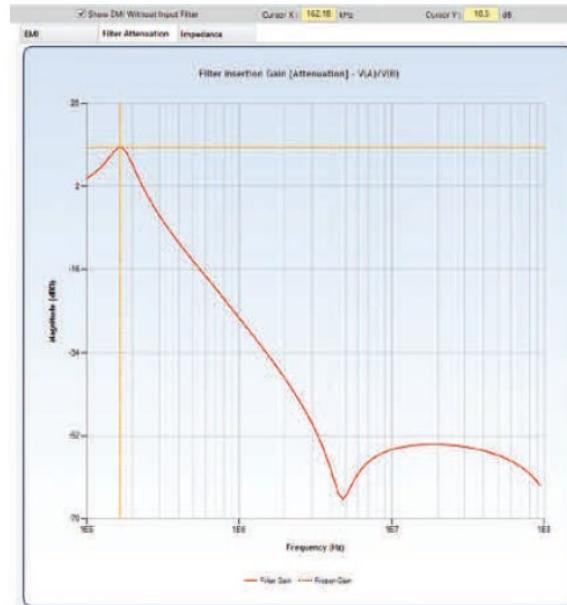


Рисунок 3.14 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра ЕМЗ при вимірюванні за стандартом CISPR22

Зовсім інша картина формується при вимірюванні за стандартом CISPR25. Значення індуктивності автоматично встановлює рівним 0.007 мкГн. Як наслідок, пік АЧХ фільтра зміщується на частоту 1.3 МГц (рис. 3.19), а спектральні складові ЕМП значно перевищують допустимі за стандартом CISPR25 межі (рис. 3.20).

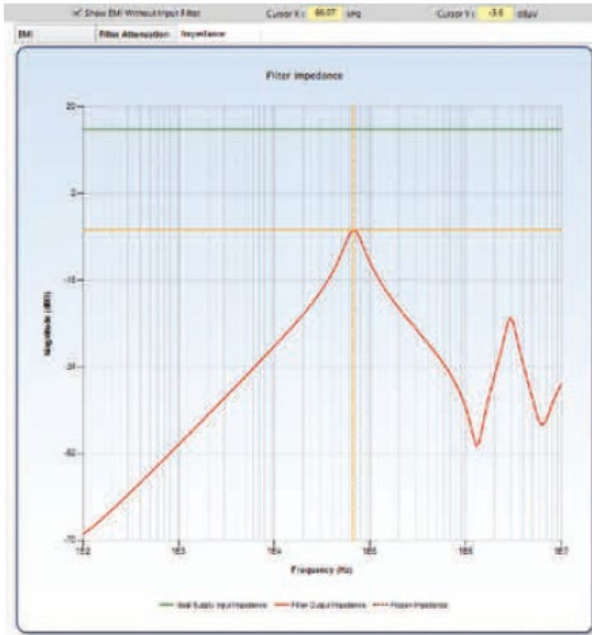


Рисунок 3.15 – Залежність вхідного опору фільтру ЕМП від частоти при вимірюванні за стандартом CISPR22

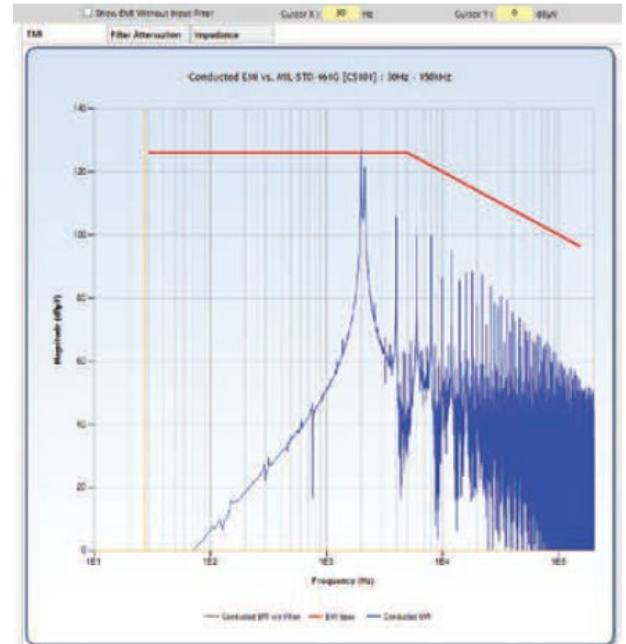


Рисунок 3.16 – Спектр ЕМЗ при вимірюванні за стандартом MIL-STD-461F

Встановити значення індуктивності вручну неможливо. Для того, щоб характеристики фільтра задовольняли вимогам стандарту CISPR25 за рівнем ЕМЗ, програма дозволяє зробити тільки лише одним способом - шляхом зміни запасу по загасання в віконці EMI Margin Desired. При встановленому значенні запасу по загасання 50 дБ індуктивність котушки встановлюється рівною 1.1 мкГн і спектр ЕМЗ укладається в межі, встановлені стандартом CISPR25 (рис. 3.21).

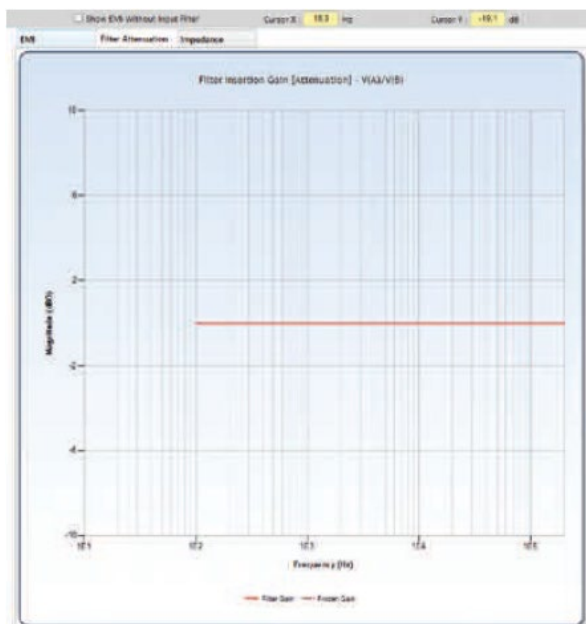


Рисунок 3.17 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра ЕМЗ при вимірюванні за стандартом MIL-STD-461F

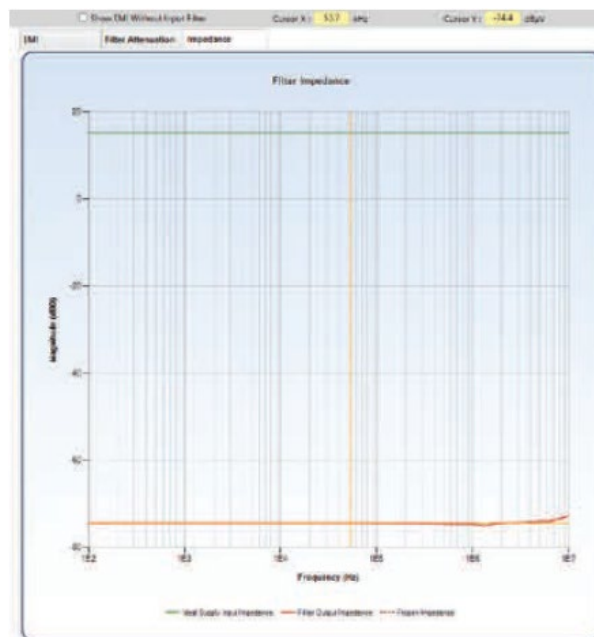


Рисунок 3.18 – Залежність вхідного опору фільтра ЕМЗ від частоти при вимірюванні за стандартом MIL-STD-461F

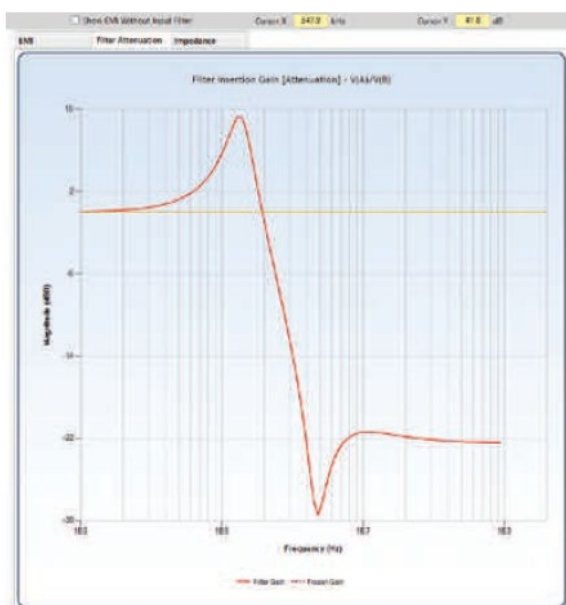


Рисунок 3.19 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра ЕМЗ при вимірюванні за стандартом CISPR25

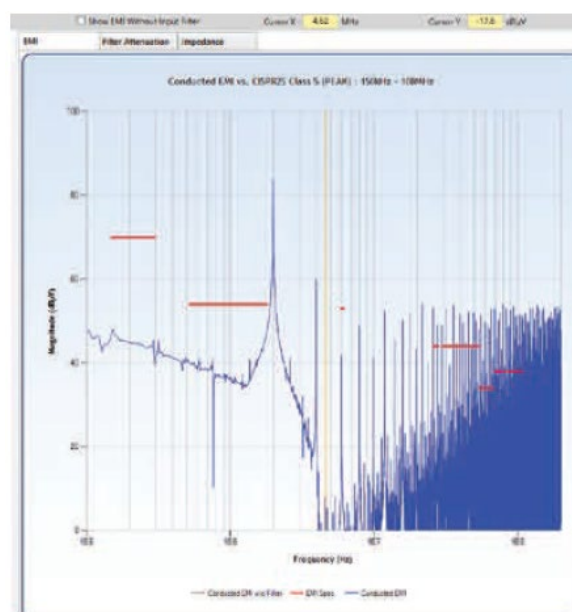


Рисунок 3.20 – Спектр ЕМЗ при вимірюванні за стандартом CISPR25

Спроба передати модель перетворювача в LTspice для аналізу не увінчалася успіхом. Програма виводить повідомлення про неможливість передачі моделі в LTspice при заданій конфігурації компонентів (рис. 3.22), хоча модель LT8640 в бібліотеці програми LTspice є.

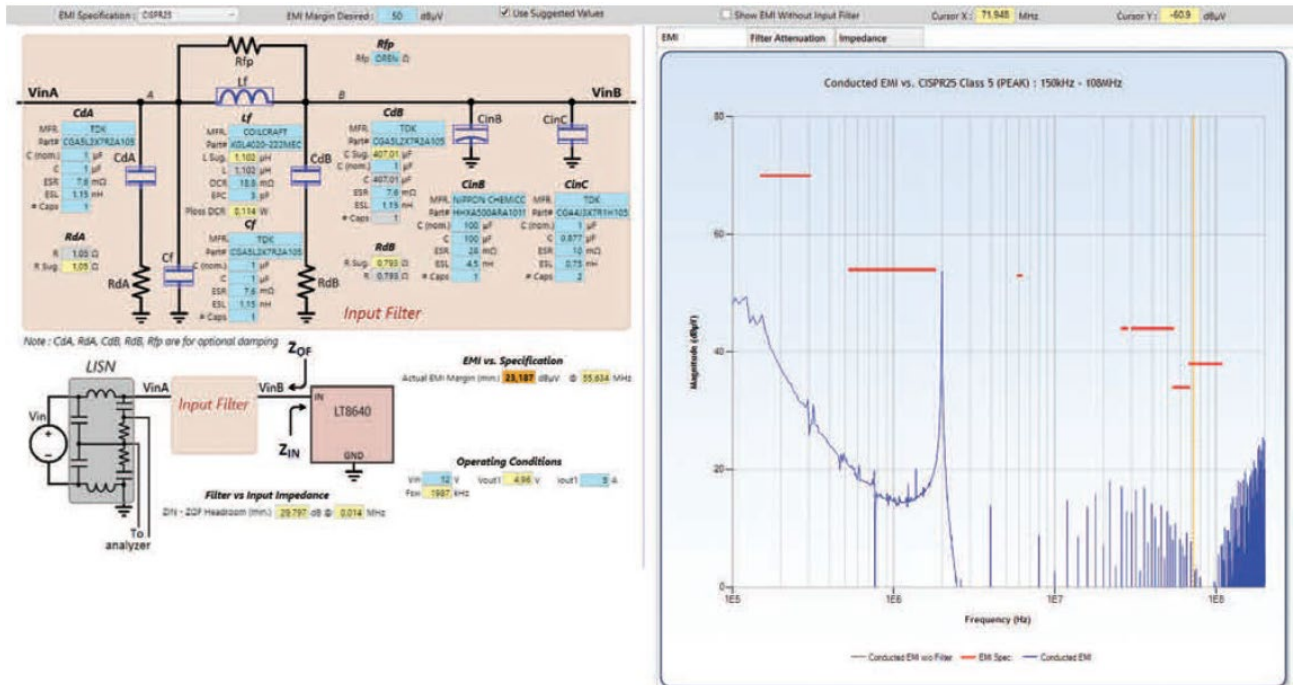


Рисунок 3.21 – Вікно Input EMI Filter Design с результатами проектування фільтра після вибору компонентів фільтра при вимірюванні за стандартом CISPR25

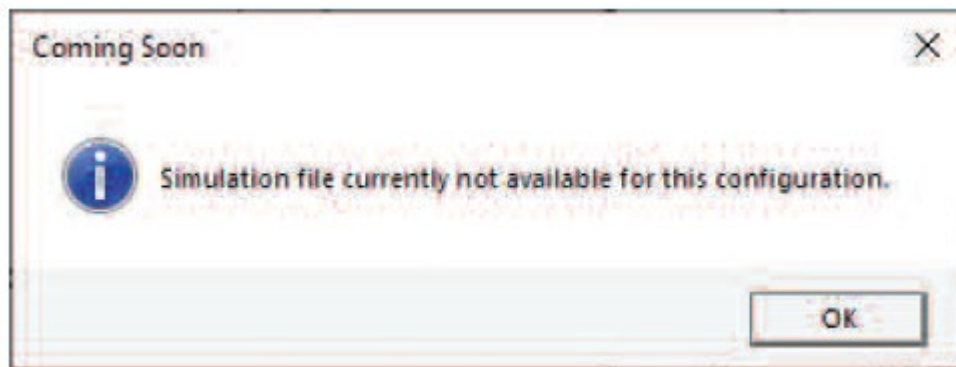


Рисунок 3.22 – Повідомлення про неможливість передачі моделі для аналізу в LTspice

Як з'ясувалося в процесі експериментів, передача моделі в LTspice можлива тільки для перетворювачів на основі контролерів, а ІМС LT8640 є

монолітним перетворювачем. Можна зібрати модель розглянутого вище перетворювача в LTspice самостійно для додаткових досліджень.

3.3 LTC7800 та LTC3779. Проектування при різних стандартах

Розглянемо, як працює програма при проектуванні перетворювача на базі LTC7800. Принципова схема перетворювача наведена на рис. 3.23. Після вибору пасивних компонентів схеми залишається підсвічується червоним кольором віконце $V_{\text{sns1}} \text{ Rip. (Pk-pk)}$, що свідчить про неправильному виборі параметрів опору резистора датчика струму R_{sns1} (рис. 3.23). Перше припущення полягає в тому, що пульсації напруги на ньому перевищують допустиме значення пульсацій струму в котушці, який мав би перевищувати 40% від максимального струму. Для датчика струму максимальне падіння напруги становить 18.394 мВ, а значення напруги пульсацій 6.787 мВ, що становить 37%. Отже справа не в амплітуді пульсацій. Інший параметр, який виводиться в області Rsense Current Sensing, це $iL1 \text{ Pk @ } I_{o1} \text{ Limit}$ рівний 10 А, в той час як в параметрах котушки L1 вказано значення пікового струму 6.131 А. Однак ні вибір іншого типу котушки індуктивності, ні зміна опору резистора R_{sns1} не дозволяють усунути цю проблему.

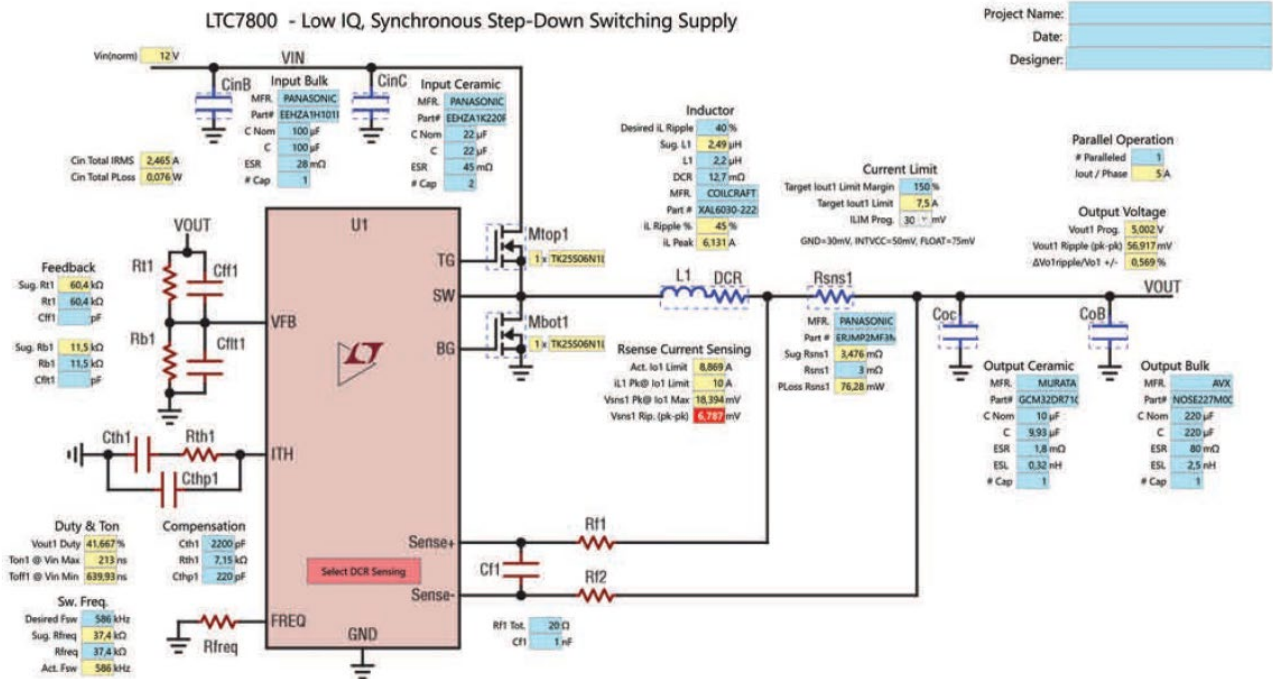


Рисунок 3.23 – Принципова схема перетворювача на ІМС LTC8700

Якщо натиснути на віконце Select DCR sensing, то конфігурація схеми зміниться. На рис. 3.24 наведено фрагмент схеми зі зміненою конфігурацією.

Як впливає з рис. 3.24, рівень обмеження струму встановлено менше, ніж максимальний струм навантаження. Для усунення цієї помилки необхідно вибрати котушку зі значно меншим активним опором DCR котушки індуктивності. На рис. 3.25 наведено фрагмент схеми з вірно встановленою конфігурацією котушки індуктивності, про що свідчить відсутність підсвічуються червоним віконце з параметрами.

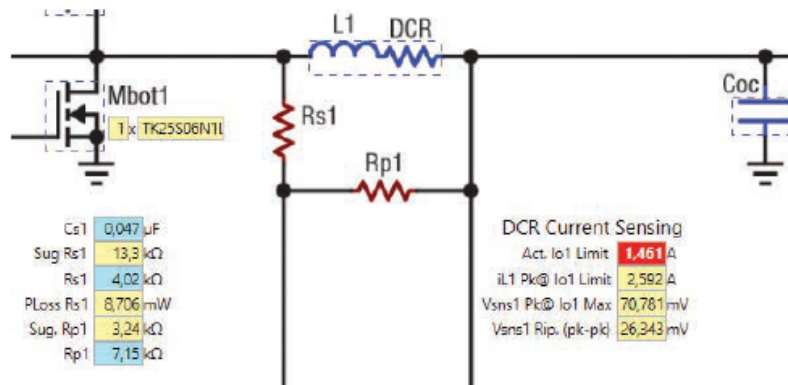


Рисунок 3.24 – Фрагмент принципової схеми перетворювача зі зміненою схемою підключення датчика струму

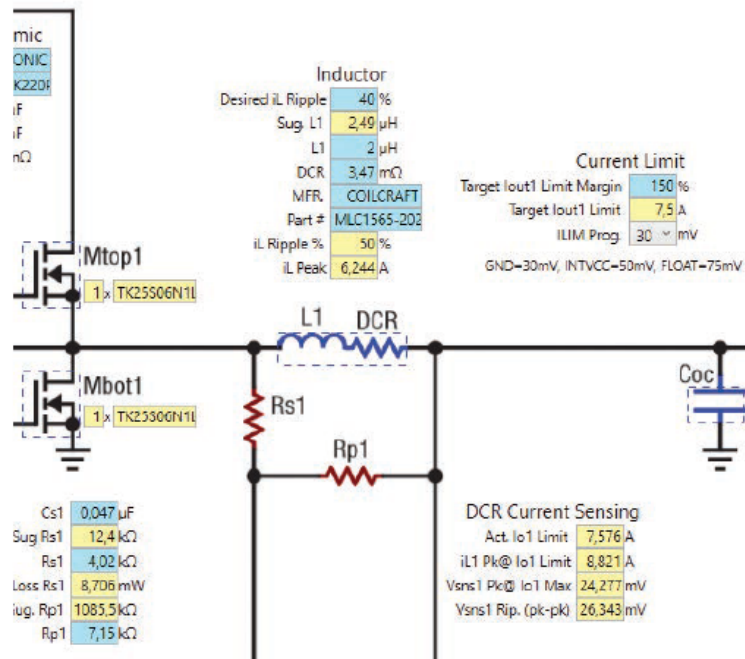


Рисунок 3.25 – Модифікована схема датчика струму з правильно встановленими параметрами

Слід зауважити, що при виборі типу котушки індуктивності таблиця з параметрами доступних компонентів відкривається з затримкою приблизно 30 с. ПЗФ, який наведено на рис. 3.26 (при встановленому запасі по загасанню 10 дБ), задовольняє стандартам CISPR22, CISPR25 (рис. 3.27) і MIL-STD-461F (рис. 3.28).

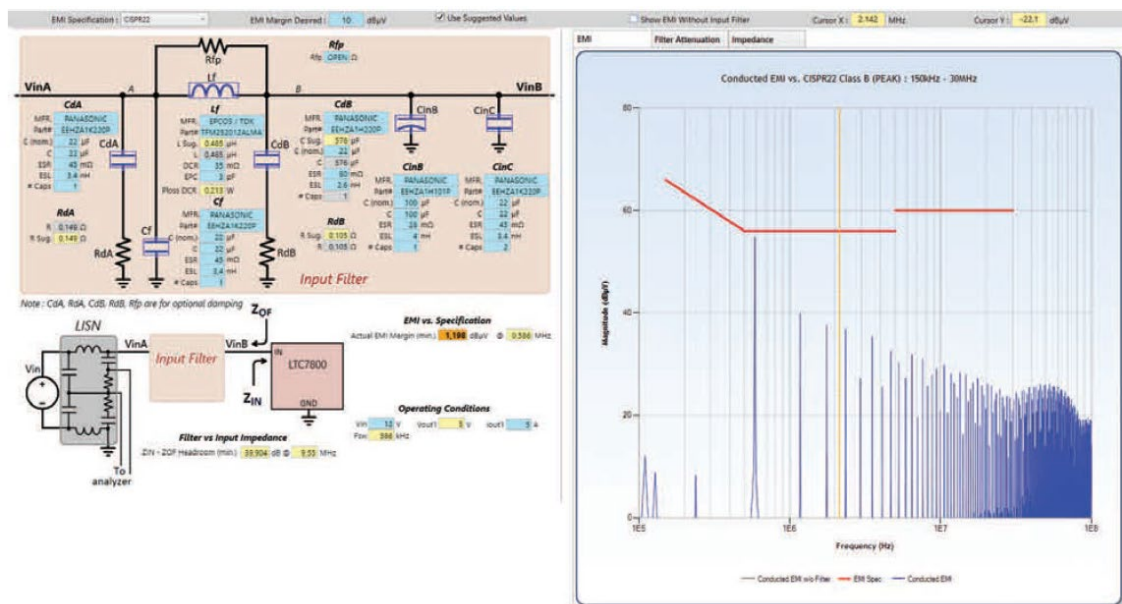


Рисунок 3.26 – Вікно Input EMI Filter Design перетворювача на IMC LTC8700 с результатами проектування фільтра при вимірюванні за стандартом CISPR22

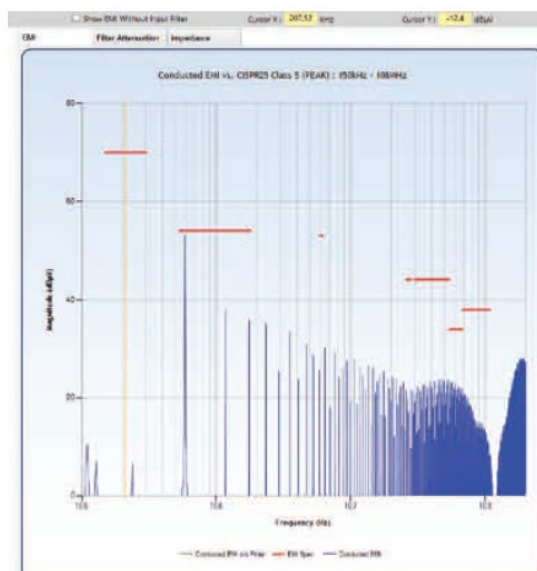


Рисунок 3.27 – Спектр ЕМЗ перетворювача на ІМС LTC8700 при вимірюванні за стандартом CISPR25

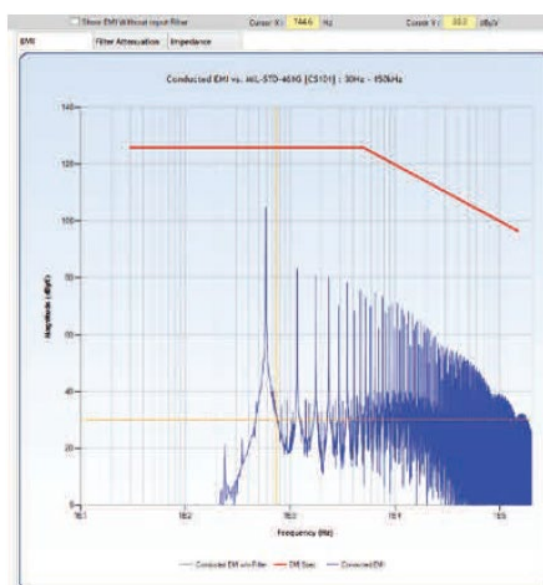


Рисунок 3.28 – Спектр ЕМЗ перетворювача на ІМС LTC8700 при вимірюванні за стандартом MIL-STD-461F

При використанні контролера LTC8700 стає доступною функція передачі моделі для аналізу роботи перетворювача в програмі LTspice. Після натискання кнопки Передати в LTspice було виведено повідомлення про те, що неможливо експортувати параметри польових транзисторів в LTspice (рис. 3.29). Це пов'язано з тим, що в базі компонентів LTspice відсутній транзистор

TK25S06N1L. Однак передача моделі здійснюється з автоматичною заміною транзистора TK25S06N1L на транзистор BSZ065N06LS5 з аналогічними параметрами.

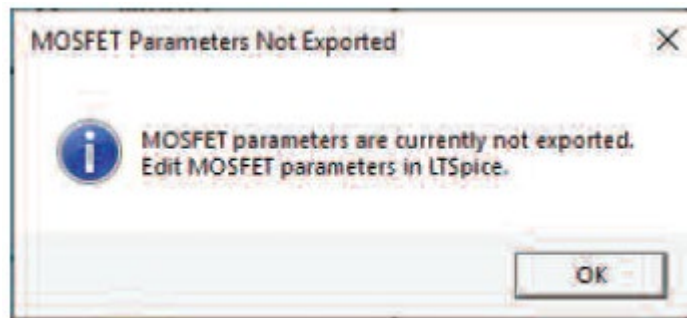


Рисунок 3.29 – Повідомлення про неможливість передачі параметрів транзисторів TK25S06N1L в LTSpice

Модель перетворювача в LTSpice приведена на рис. 3.30. Напруга на вході встановлено автоматично рівним номінальному 12 В. Результати моделювання роботи перетворювача при вхідній напрузі 12 В наведені на рис. 3.31.

Особливістю моделі є наявність динамічного навантаження LoadStep1, яке дозволяє стрибкоподібно змінювати струм від 2.5 до 5 А. Значення струму навантаження і інтервали часу, на яких струм змінюється, можна легко змінювати, відкривши властивості цього навантаження.

LTC7800 - 60Vin, 24Vo_max High Efficiency Synchronous Step-Down Supply (L DCR sense example)

If simulation model is not found, please "Sync release".

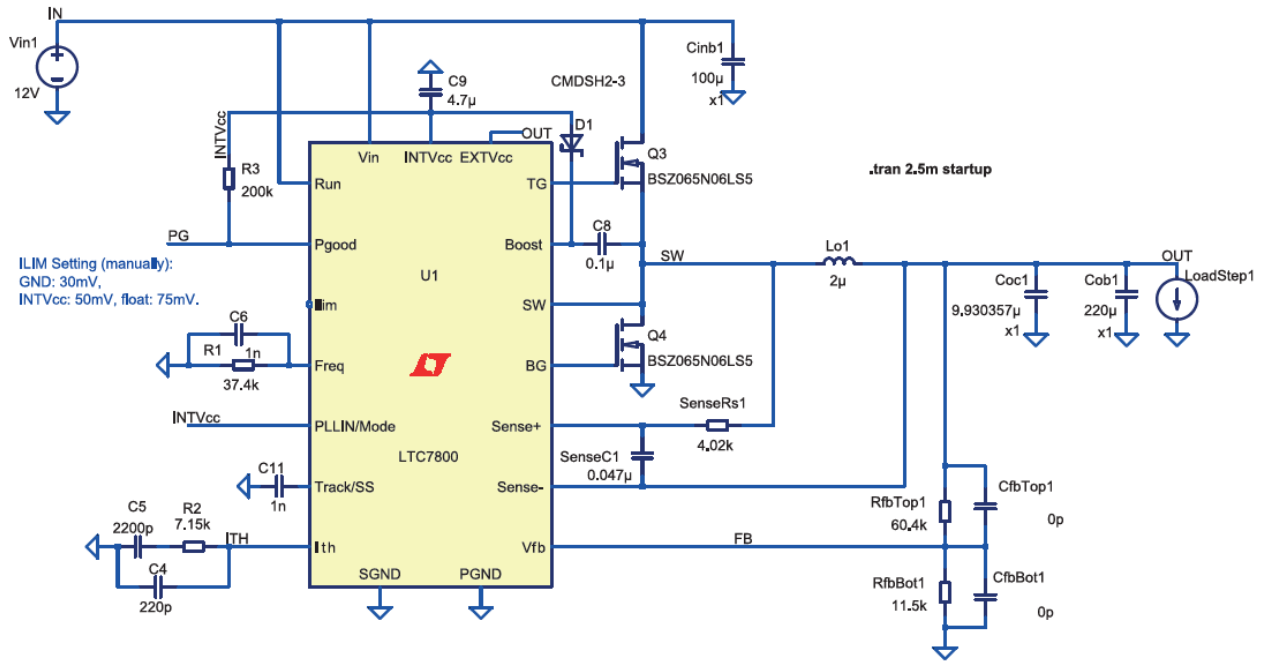


Рисунок 3.30 – Модель знижуючого DC / DC-перетворювача на основі контролера LTC7800

Щоб зіставити результати моделювання з отриманими в LTpowerCAD (рис. 3.32), необхідно трохи модифікувати модель, а саме, ввести фіксоване навантаження для забезпечення струму 5 А, почати процес моделювання після завершення перехідного процесу і для автоматизації процесу розрахунку ККД перетворювача ввести відповідну директиву. Модифіковану модель наведено на рис. 3.33.

Форми напруги на виході перетворювача і його вхідного струму наведено на рис. 3.34. Амплітуда пульсацій вихідної напруги не перевищує 45 мВ. Величина, отримана в LTpowerCAD, не перевищує 59.7 мВ (рис. 3.23). Це пояснюється тим, що параметри транзисторів в LTpowerCAD і в LTspice розрізняються.

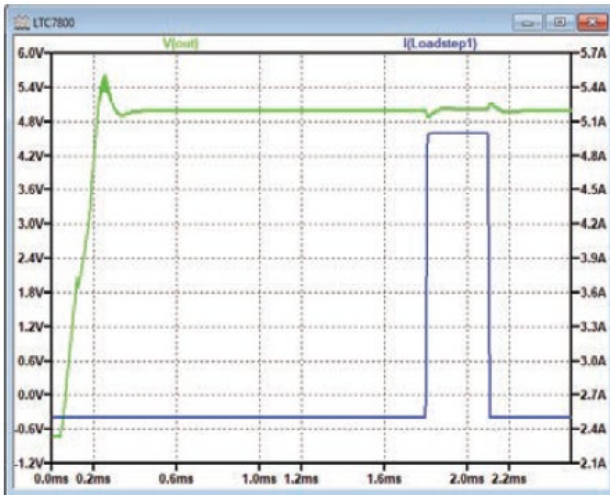


Рисунок 3.31 – Часові діаграми вихідної напруги (зелена крива) і струму навантаження DC / DC-перетворювача на основі контролера LTC7800

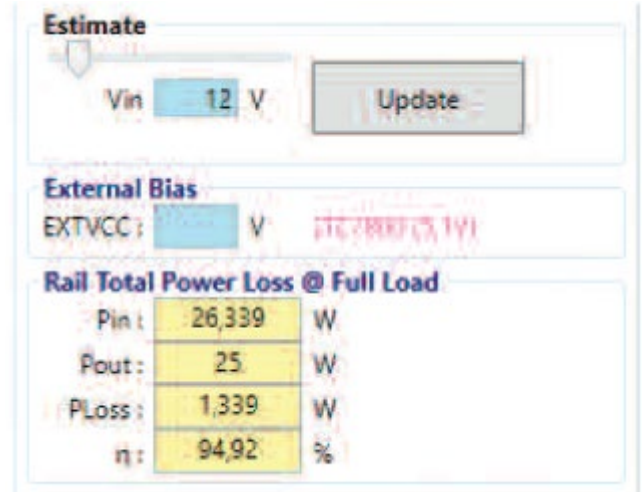


Рисунок 3.32 – Результати розрахунку ККД перетворювача на основі контролера LTC7800 в LTpowerCAD

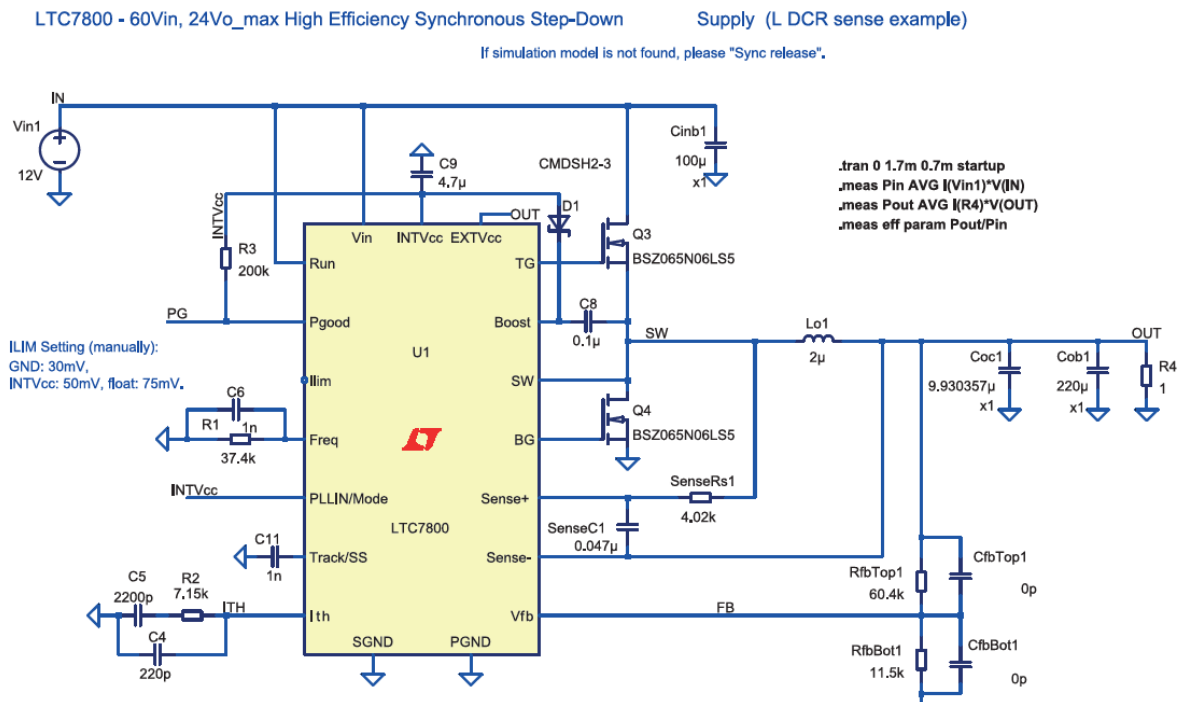


Рисунок 3.33 – Модифікована модель перетворювача на основі контролера LTC7800

Результат розрахунку ККД перетворювача наведено в звіті про моделювання SPICE Error Log, фрагмент якого наведено на рис. 3.35. Як впливає з отриманого результату, ККД перетворювача при струмі

навантаження 5А і вхідній напрузі 12 В становить 97.67%, що більше, отриманого в LTpowerCAD. Це пояснюється тим, що опір відкритого транзистора BSZ065N06LS5 одно 5.4 мОм, а у ТК25S06N1L - 22.13 мОм, що і забезпечує більш високе значення ККД для моделі в LTspice.

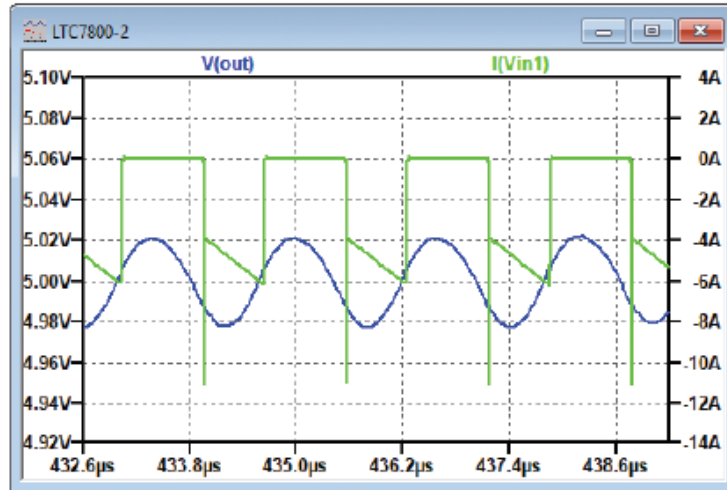


Рисунок 3.34 – Форма напруги на виході (синя крива) і вхідного струму перетворювача на основі контролера LTC7800

```

pout: AVG(i(r4)*v(out))=25.0054 FROM 0 TO 0.001
pin:  AVG(i(vin1)*v(in))=-25.5997 FROM 0 TO 0.001
eff:  pout/pin=-0.976784

```

Рисунок 3.35 - Фрагмент звіту SPICE Error Log

Для оцінки ефективності застосування ПЗФ в розглянутому перетворювачі необхідно виміряти спектр вхідного струму за відсутності фільтра, а потім додати в модель ПЗФ і провести вимірювання спектра струму джерела вхідної напруги. На рис. 3.36 наведено спектр вхідного струму перетворювача за відсутності фільтра.

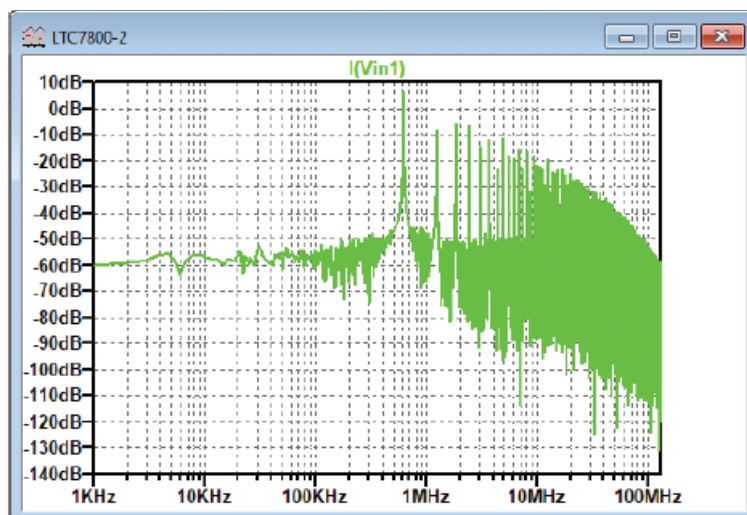


Рисунок 3.36 – Спектр вхідного струму перетворювача на основі контролера LTC7800 при відсутності ПЗФ

Модель з ПЗФ наведено на рис. 3.37. Крім фільтра в моделі змінена директива початку і закінчення процесу фіксації результатів моделювання. Це пов'язано з тим, що при наявності LC-фільтра придушення перешкод значно зростає час перехідного процесу. Для зменшення викиду в спектрі на частоті резонансу контуру, утвореного котушкою фільтра L1 і конденсаторами фільтра C1 і C2, паралельно котушці включений резистор опором 10 Ом. Спектр струму джерела вхідної напруги наведено на рис. 3.38.

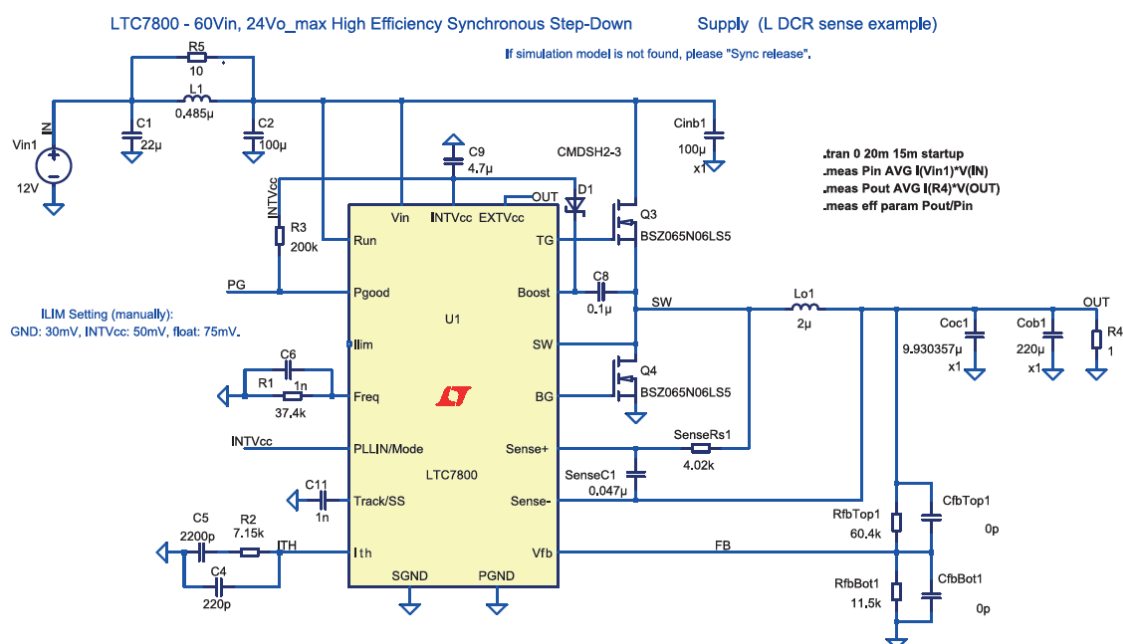


Рисунок 3.37 – Модель перетворювача на основі контролера LTC7800 з ПЗФ

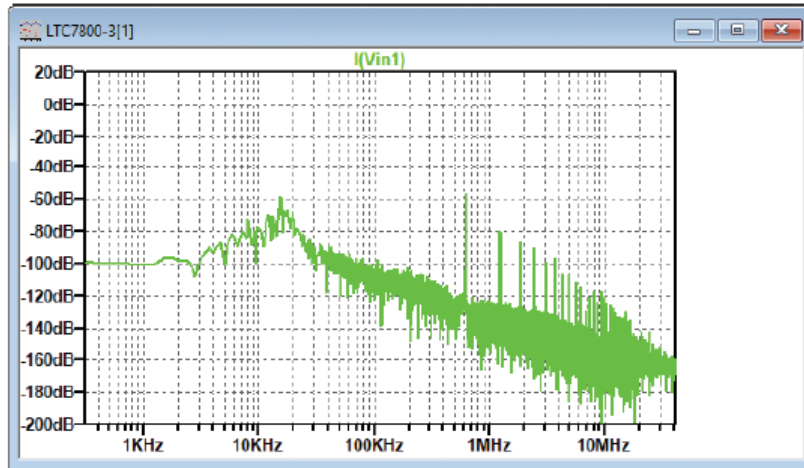


Рисунок 3.38 – Спектр струму джерела вхідної напруги перетворювача на основі контролера LTC7800 за наявності ПЗФ

При порівнянні спектрів на рис. 3.36 і 3.38, можна зробити висновок, що ПЗФ дозволяє послабити рівень кондуктивних завад приблизно на 60 дБ на частоті комутації силових ключів і на більш високих частотах.

Для перетворювача на основі контролерів LT6480 і LTC7800 в LTpowerCAD недоступні приклади розташування елементів на друкованій платі.

Для ілюстрації можливостей програми, недоступних для LT6480 і LTC7800, розглянемо приклад проектування перетворювача на універсальному синхронному знижуючо/підвищуючому контролері LTC3779. Принципова схема перетворювача наведена на рис. 3.39. Вхідні і вихідні параметри перетворювача наведені на малюнку і схожі з параметрами розглянутих вище перетворювачів.

При передачі моделі перетворювача на ІМС контролера LTC3779 з'ясувалося, що в LTspice передана модель з двома помилками: відсутній провід зв'язку між входом FB і ділянкою напруги R_t , R_b (ланцюг зворотного зв'язку, що задає вихідна напруга) і провід, що з'єднує резистор R_{freq} , що задає частоту комутації ключів, до загального проводу. Природно, це призвело до невірної роботи перетворювача. Після відновлення цих зв'язків перетворювач забезпечив задані параметри.

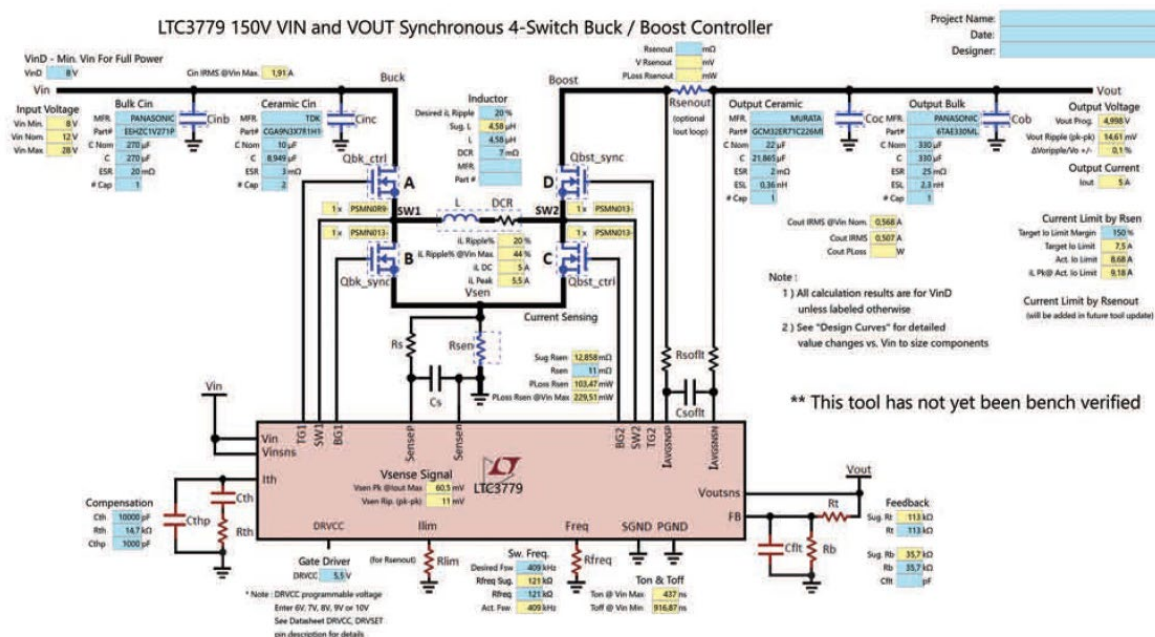


Рисунок 3.39 – Принципова схема перетворювача на ІМС контролера LTC3779

Для перетворювача на ІМС LTC3779 програма LTpowerCAD пропонує два варіанти розташування елементів на платі з мінімальною довжиною гарячого контуру - при відсутності в перетворювачі резистора Rsen (рис. 3.40) і з цим резистором (рис. 3.41).

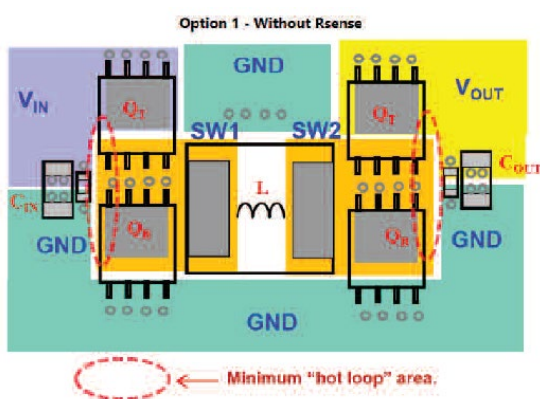


Рисунок 3.40 – Розташування елементів на друкованій платі при відсутності резистора Rsen в схемі перетворювача

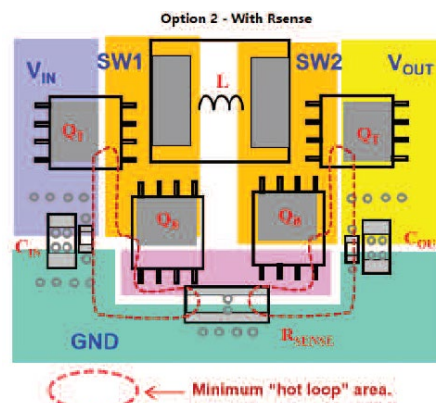


Рисунок 3.41 – Розташування елементів на друкованій платі при наявності резистора Rsen в схемі перетворювача

Конструкція друкованої плати (верхній і нижній шари) приведена на рис. 3.42 і 3.43, відповідно. З пророблених експериментів можна зробити висновки про те, що процес проектування перетворювачів на базі елементів Analog Devices значно спрощений і займає мало часу. Можливість оцінити відповідність перетворювача вимогам різних стандартів щодо електромагнітної сумісності при наявності і без фільтру придушення ЕМЗ значно розширює функціональні можливості програми. Однак, програма ще не досконала і в деяких випадках не дозволяє реалізувати всі, заявлені в ній функції. Наприклад, набори транзисторів в LTpowerCAD і в LTspice не збігаються. Безсумнівно, в наступній версії програми багато з недоліків будуть усунені.

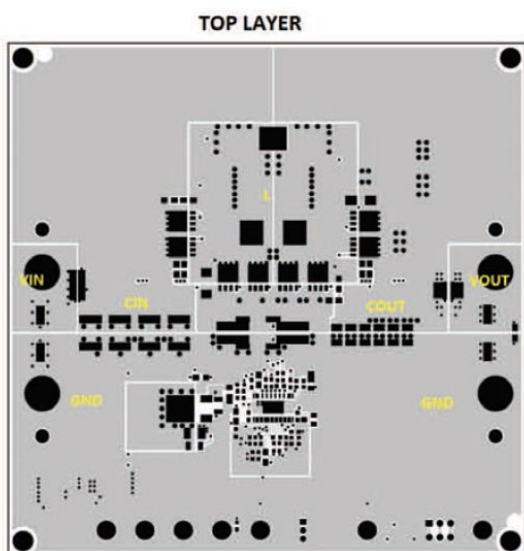


Рисунок 3.42 – Верхній шар
друкованої плати

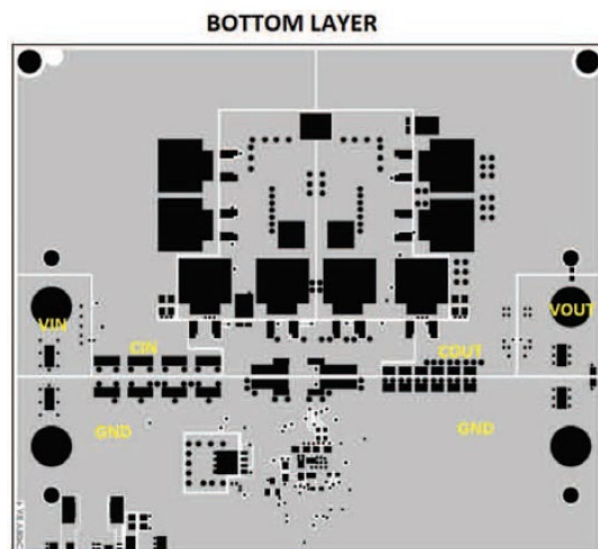


Рисунок 3.43 – Нижній шар
друкованої плати

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В цьому розділі магістерської дисертації розкрито основні можливості програми LTpowerCAD II. Функціонал програми складається з багатьох модулів, що дозволяють задавати різні параметри, додавати необхідні компоненти, побачити короткий опис елементів, побудувати графіки за необхідними параметрами тощо.

Проаналізовано роботу деяких перетворювачів при зміні параметрів компонентів та з використанням різних стандартів. При різних стандартах графіки залежностей перетворювачів та фільтрів часто сильно відрізняються. Проте, якщо змінювати значення елементів, то можна отримати приблизно однакові значення

Проведено детальний аналіз перетворювачів LTC7800 та LTC3779 та побудовано графіки різних залежностей для оцінки впливу вимог стандартів з ЕМС на результат.

РОЗДІЛ 4

СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ З ПІДВИЩЕНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ

У даному розділі наведено аналіз та розробка моделі електронної системи згідно з темою дисертації.

4.1. Зміст ідеї проекту

В табл. 4.1 наведено зміст основної ідеї проекту, шляхи практичного застосування продукту та вигоди, які користувач зможе отримати при використанні.

Таблиця 4.1. Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка електронної системи, яка забезпечить електромагнітну сумісність підвищеної ефективності	Створення музики, підвищення якості звучання кінофільмів та мультфільмів у кінотеатрах	Низьке відношення сигнал/шум(мала кількість ЕМЗ). Стабільність звуку.

Головна задача проекту – створити таку модель, яка буде забезпечувати електромагнітну сумісність з підвищеною ефективністю. Кількість завад повинна бути мінімальною, а якість передачі сигналу – на найвищому рівні.

Для створення проекту будуть використовуватись наступні перетворювачі на основі інтегральних мікросхем:

1. LT8640:

Архітектура Silent Switcher™:

- дуже низький рівень електромагнітних завад

- спектральний розподіл частотної модуляції

Високий ККД на високій частоті перетворення:

- до 96% на частоті 1 МГц
- до 95% на частоті 2 МГц
- широкий діапазон вхідної напруги: від 3.4 В до 42 В
- наднизький струм споживання в режимі Burst Mode®: 2.5 мкА при нарузі вхід / вихід 12 В / 3.3 В і вихідних пульсаціях не більше 10 мВ
- мінімальна тривалість включеного стану силового ключа: 40 нс
- низьке падіння напруги в будь-яких робочих умовах: 100 мВ при струмі навантаження 1 А
- режим обмеження насичення котушки індуктивності в умовах перевантаження
- установка і синхронізація робочої частоти перетворення в діапазоні: від 200 кГц до 3 МГц
- точність порога спрацьовування схеми внутрішньої компенсації: 1В
- діапазон робочих температур від -40 °С до + 150°С
- компактний 18-вивідний корпус QFN – розмірами 3 мм.рт.ст. x 4 мм [14]

2. LTC7800:

- широкий діапазон вхідної напруги: від 4 В до 60 В
- широкий діапазон вихідної напруги: від 0.8 В до 24 В
- фіксована частота перетворення з фазовим автопідстроюванням: від 320 кГц до 2.25 МГц

- мінімальна тривалість імпульсу для понижуючого перетворення високих вхідних напруг: 45 нс
- струм споживання спокою: 50 мкА
- ККД схеми в режимі синхронного випрямлення: до 95%
- вихідний каскад на MOSFET-транзисторі із залишковим опором 1,1 Ом для управління зовнішніми силовими ключами
- три обраних користувачем режиму роботи: Burst Mode® з низьким рівнем пульсацій, з пропуском імпульсів і безперервної провідності
- регульована схема плавного запуску і схема контролю вихідної напруги
- захист виходу від перевантажень по струму і напрузі
- діапазон робочих температур: від -40 °C до + 150°C [15]

3. LTC3779:

- широкий діапазон V_{IN} : від 4,5 В до 150 В
- широкий діапазон вихідної напруги: $1,2 \text{ В} \leq V_{OUT} \leq 150 \text{ В}$
- синхронне випрямлення: ефективність до 99%
- $\pm 1\%$ Позиція напруги 1,2 В
- вхідна або вихідна середня гранична сила струму
- вбудований LDO або зовнішній NMOS LDO для DRVCC
- драйвери живлення 36V EXTVCC LDO
- програмований 6V до 10V DRVCC оптимізує ефективність
- немає верхнього шуму оновлення FET у режимі Boost або Buck
- V_{OUT} відключено від V_{IN} під час вимкнення
- відсутність зворотного струму під час запуску

- програмоване блокування вхідної перенапруги
- термічно посилений пакет FE38 TSSOP, модифікований для роботи під напругою [16]

4.2. Доступність ІМС для використання в електронній системі

Перед створенням моделі необхідно визначити, наскільки доступними є ІМС, які планується використовувати. Результати занесено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Наявність та доступність ІМС для реалізації проекту

<i>№</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>ІМС, як основа</i>	<i>Наявність ІМС</i>	<i>Доступність ІМС</i>
1	Електронна система	LT8640	У наявності	У відкритому доступі
2	забезпечення електромагнітної сумісності з підвищеною ефективністю	LTC7800	У наявності	У відкритому доступі
3		LTC3779	У наявності	У відкритому доступі

Як помітно з таблиці 4.2, технології доступні для реалізації.

4.3. Проведення експериментів зі зміною параметрів для отримання кращої ефективності

Всі дослідження проводяться на частоті 500 кГц, яка потрапляє в робочий діапазон кожної з ІМС, та оптимальній температурі 25 °С. Діапазон вхідної напруги 8 – 40 В з номінальним значенням 12 В. Змінюватись буде тільки струм навантаження та значення вхідної напруги при потребі. Та на основі графіків можна визначити яка з ІМС є найбільш ефективною.

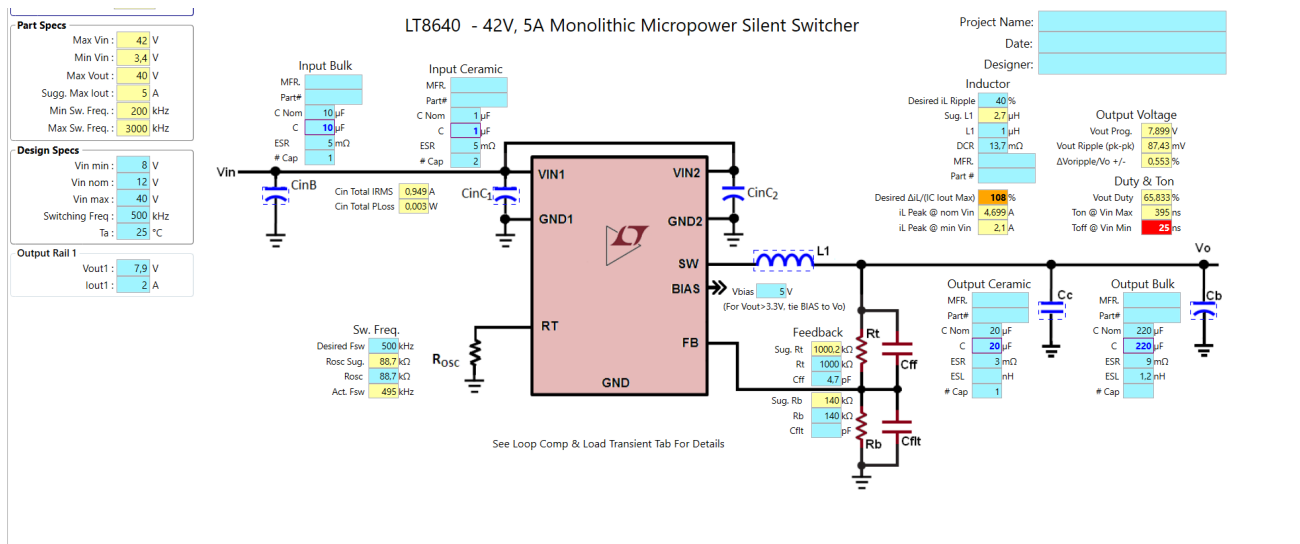


Рисунок 4.1 – Параметри схеми на основі ІМС LT8640

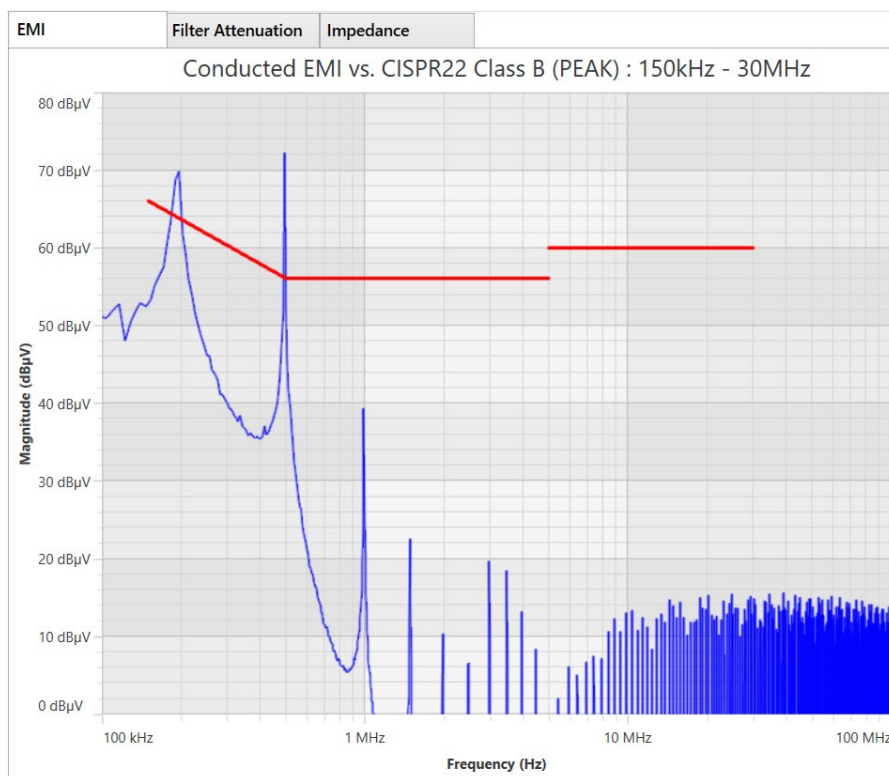


Рисунок 4.2 – Графік залежності рівня ЕМЗ від частоти

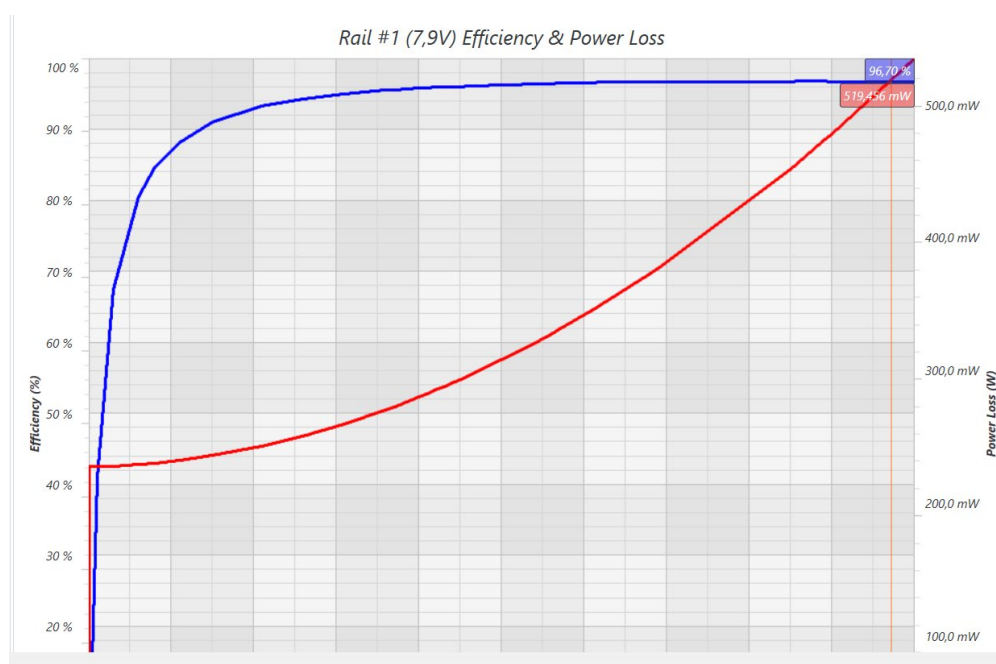


Рисунок 4.3 – Графік ККД та втрат потужності при входній напрузі 12 В

Як можна побачити з графіків, при даних параметрах ККД зростає дуже різко і швидко, проте помітні великі втрати потужності. Якщо змінити входну напругу 8 В, то можна отримати кращі результати.

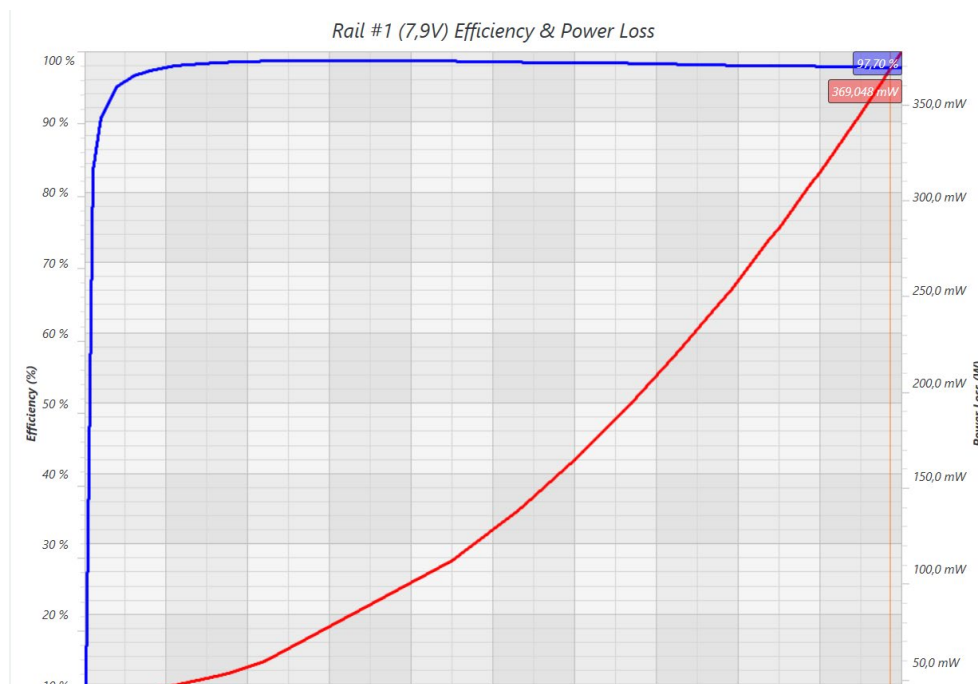


Рисунок 4.4 – Графік ККД та втрат потужності при вхідній напрузі 8 В

Можна побачити, що ККД дуже різко зростає, проте починає трохи зменшуватись при більших значеннях струму. Також помітно менші втрати потужності і зростають вони повільніше, ніж у першому випадку.

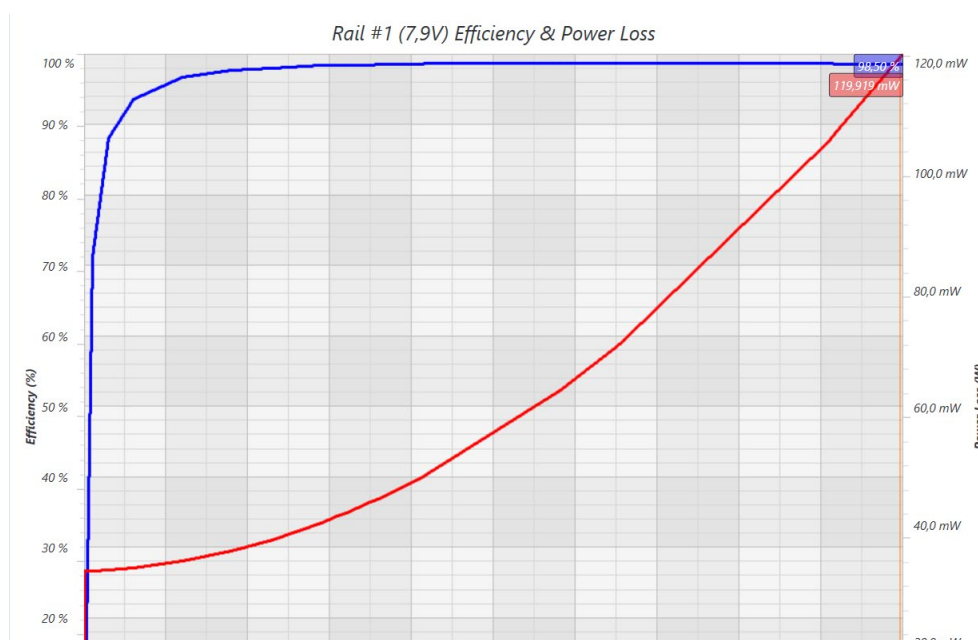


Рисунок 4.5 – Графік ККД та втрат потужності при вхідній напрузі 8 В та струмі 1 А

Такий підбір параметрів є найбільш ефективним. Втрати потужності мінімальні, а ККД тримається на високому рівні.

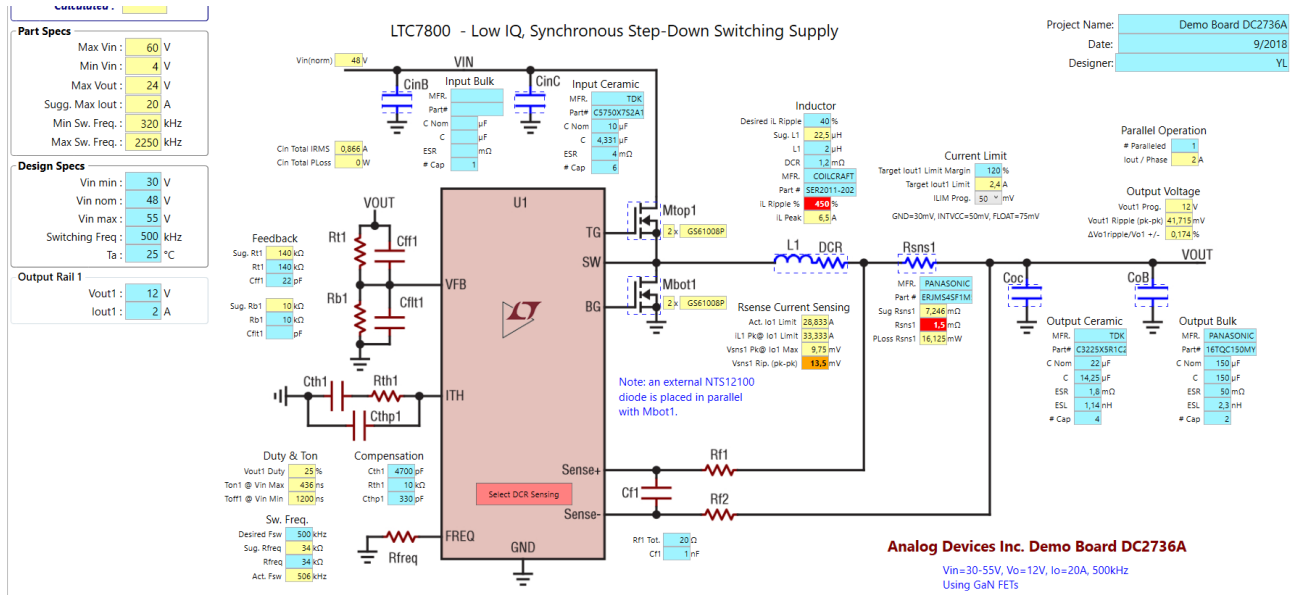


Рисунок 4.6 – Параметри схеми на основі ІМС LTC7800

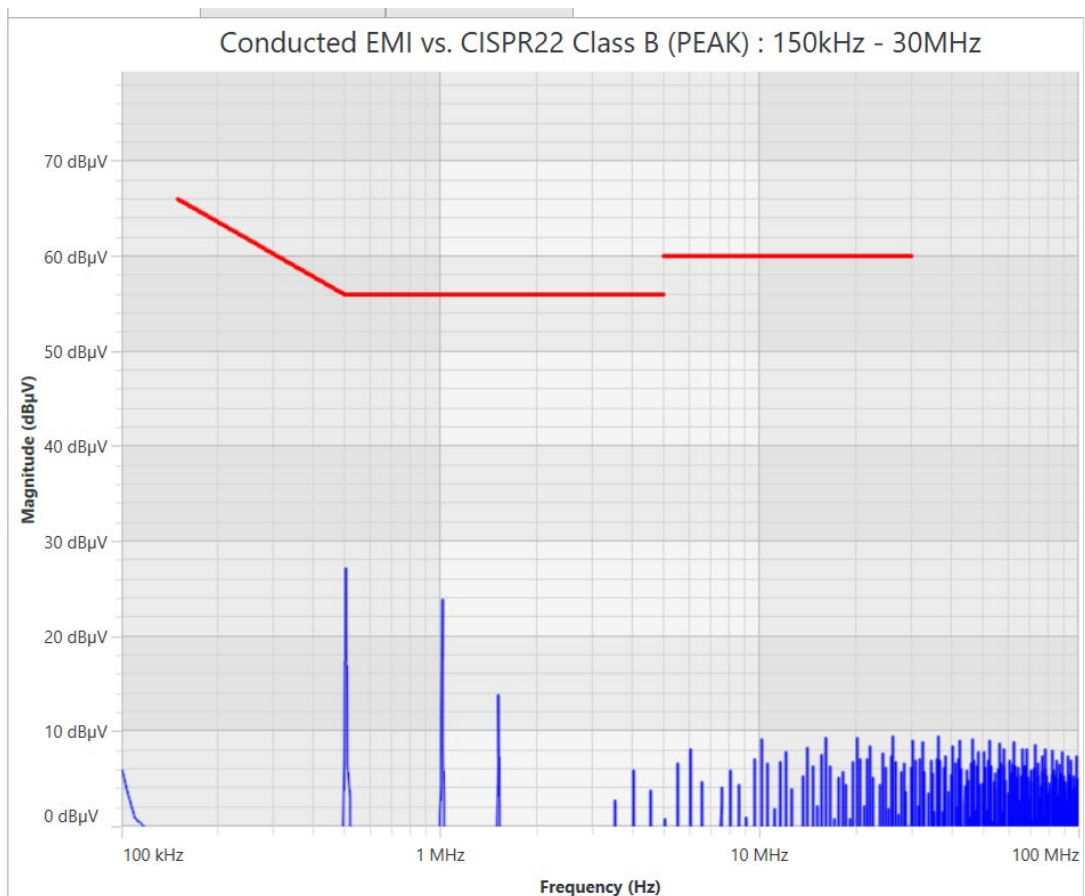


Рисунок 4.7 – Графік залежності рівня ЕМЗ від частоти

При використанні ІМС LTC7800 помітно більше викидів у спектрі ЕМЗ, ніж при LT8640.

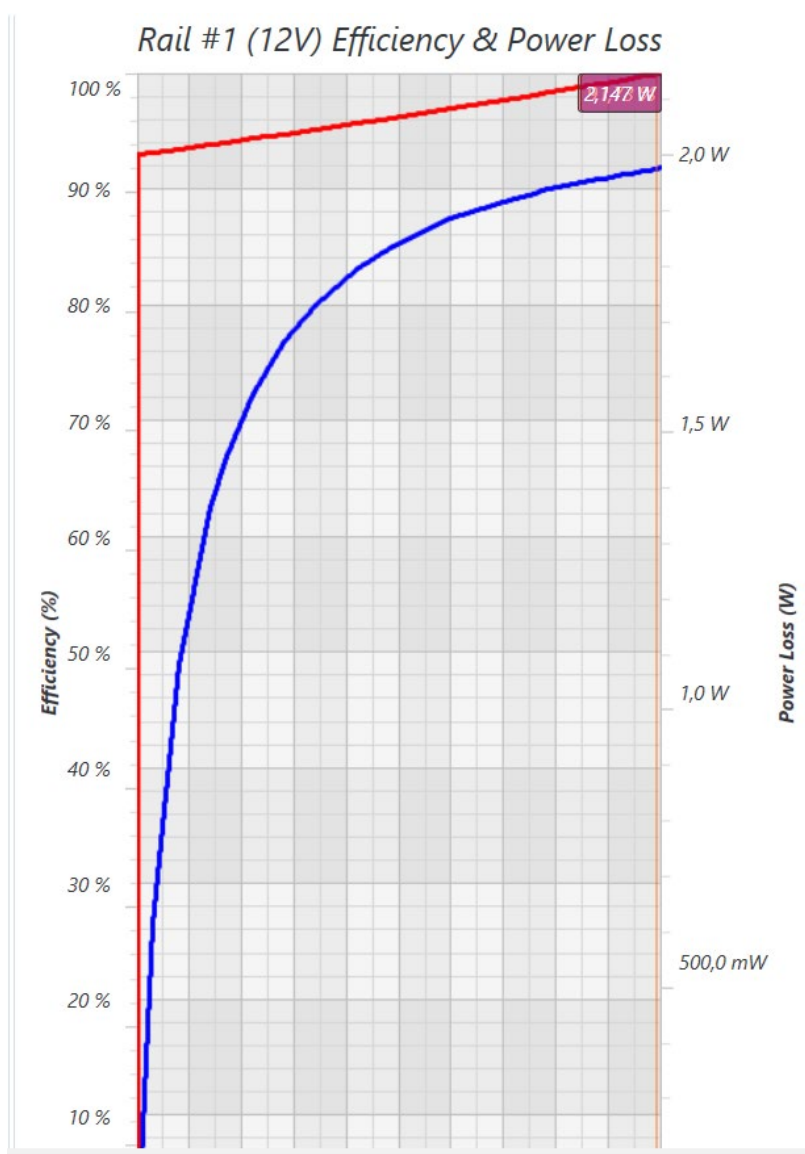


Рисунок 4.8 – Графік ККД та втрат потужності при входній напрузі 12 В та струмі 2 А

З графіка помітно, що при заданих параметрах суттєві втрати потужності та ККД не надто високий. Проте, при зміні цих параметрів на оптимальні для попередньої ІМС тільки погіршує ситуацію.

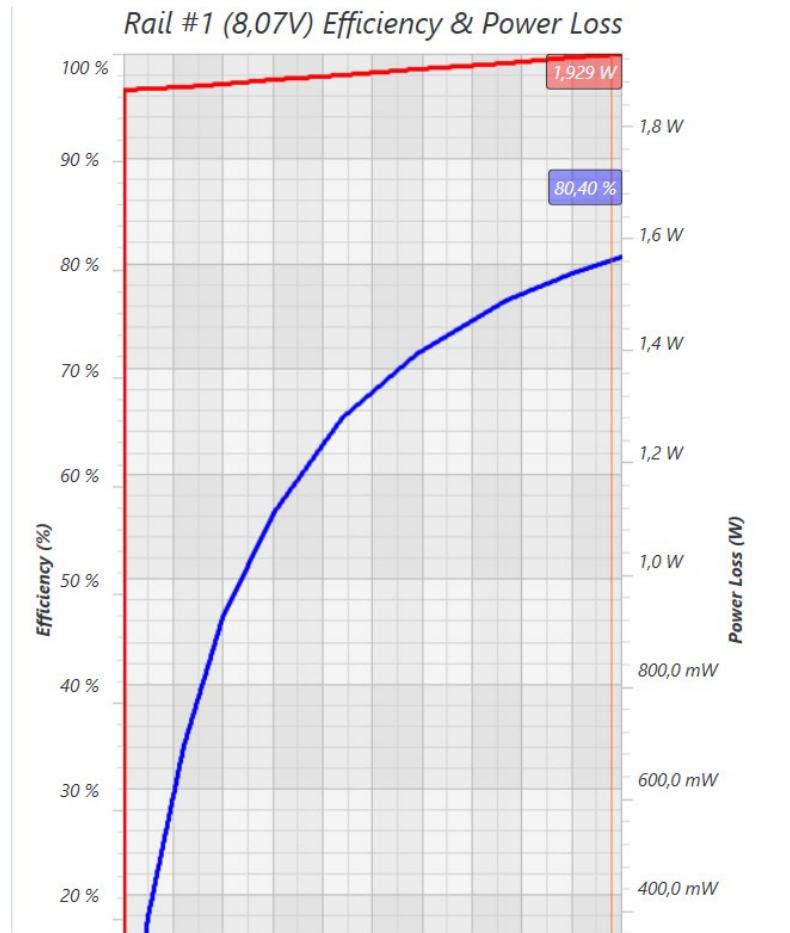


Рисунок 4.9 – Графік ККД та втрат потужності при вхідній напрузі 8 В та струмі 2 А

Тому можна попередньо зробити висновок, що дана інтегрована мікросхема не підходить для реалізації проекту. Розглянемо останню обрану модель LTC3779.

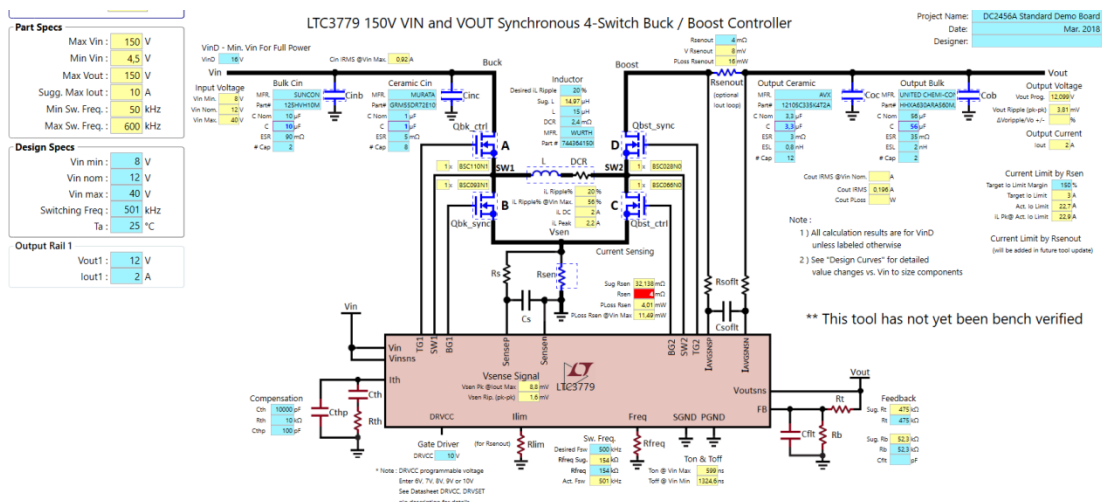


Рисунок 4.10 – Параметри схеми на основі ІМС LTC3779

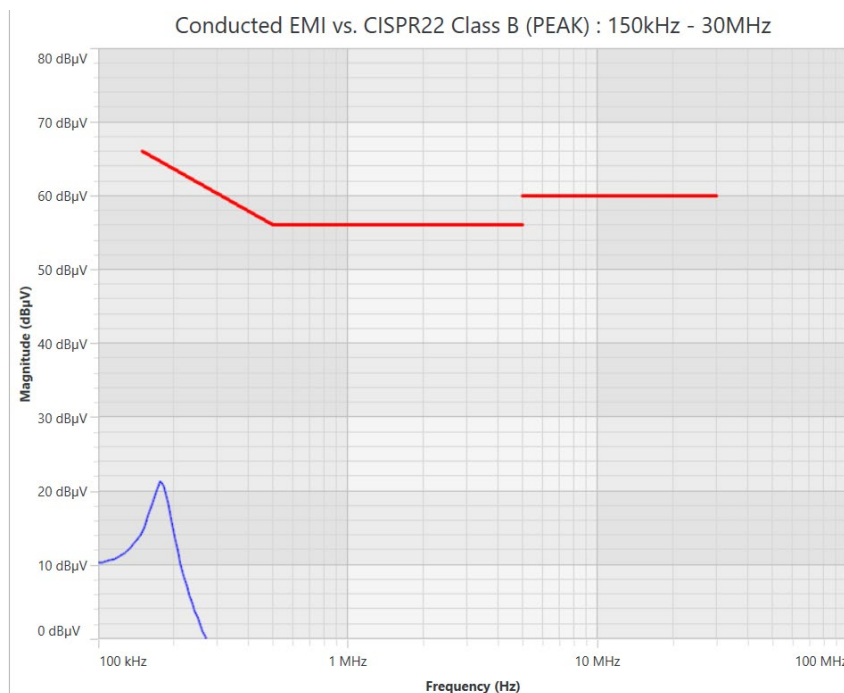


Рисунок 4.11 – Графік залежності рівня ЕМЗ від частоти

Викиди в спектрі ЕМЗ слабо помітні, що свідчить про низьку добротність контуру.

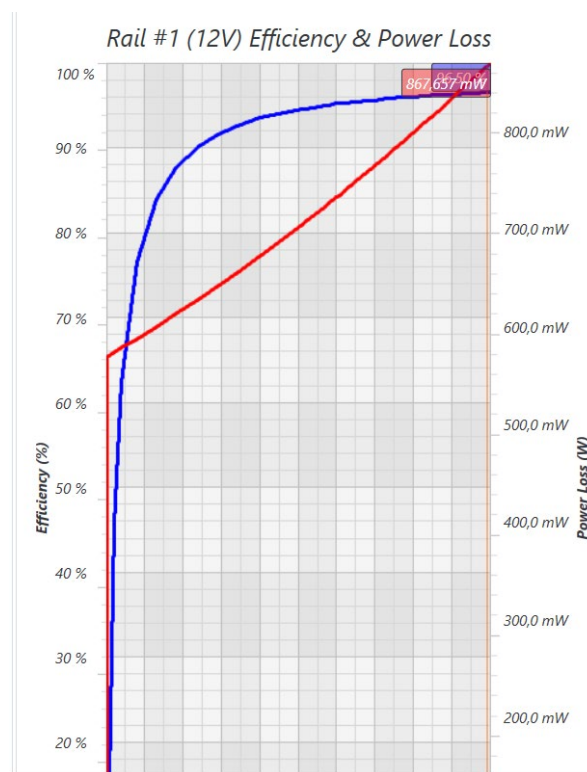


Рисунок 4.12 – Графік ККД та втрат потужності при вхідній напрузі 12 В та струмі 2 А

Графік показує, що хоч і ККД доволі високий, проте завеликі втрати потужності. Спробуємо змінити параметри. Зменшивши вхідну напругу до 8 В, отримуємо трохи краще значення ККД та менші втрати потужності.

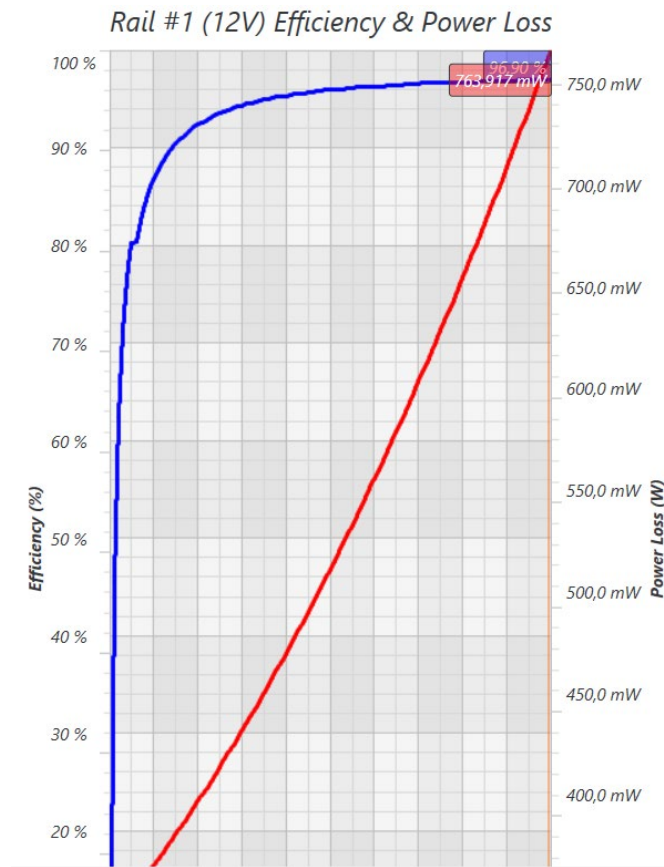


Рисунок 4.13 – Графік ККД та втрат потужності при вхідній напрузі 12 В та струмі 1 А

Зменшивши струм навантаження до 1 А, отримуємо трохи менше значення ККД, проте втрати потужності помітно зменшуються в такому випадку.

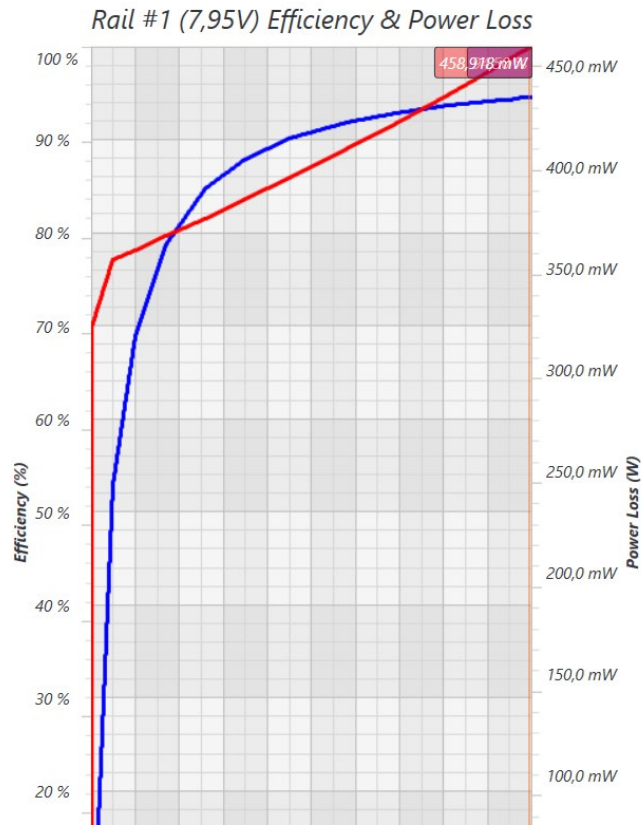


Рисунок 4.14 – Графік ККД та втрат потужності при входній напрузі 8 В та струмі 1 А

Якщо знову збільшити напругу до 12 В, а струм навантаження залишити 1 А, то ККД зменшиться, а втрати потужності сильно зростуть.

Узагальнення конкурентоспроможності показано у табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Узагальнення аспектів конкурентоспроможності

<i>№</i>	<i>ІМС</i>	<i>ККД, максимальне значення, %</i>	<i>Втрати потужності, мінімальне значення, Вт</i>	<i>Пріоритет для використання</i>
1	LT8640	98,5	0,12	1
2	LTC7800	92	1,929	3
3	LTC3779	96,90	0,459	2

За двома найважливішими параметрами ІМС LT8640 є найоптимальнішим варіантом для вибору в реалізації проекту електронної системи забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У даному розділі описується та виконується аналіз обраних ІМС для визначення кращої з них. Виявлено та продемонстровано потенційно слабкі та сильні сторони кожного з варіантів, знайдено найбільш раціональний варіант з обраних.

З'ясовано, що найкращою виявилась інтегрована мікросхема LT8640 з найкращим показником ККД та невисокими втратами потужності, що надає їй пріоритет у використанні в майбутньому проекті з розробки електронної схеми забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності.

Всі 3 мікросхеми є доступними та знаходяться у відкритому доступі. Кожна з них ефективна і варта застосування.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У даному розділі наведено аналіз та розробка стартап-проекту згідно з темою дисертації.

5.1. Опис ідеї проекту

В табл. 4.1 приводиться зміст головної ідеї проекту, потенційні шляхи практичного застосування продукту та базові привілегії, які користувач зможе отримати при використанні.

Наступним етапом – з'ясування та проведення аналізу сильних, слабких та нейтральних сторін проекту, а також параметрів розробки та подальше порівняння з конкуренто спроможними системами.

Таблиця. 5.1. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики проекту	Типи ІМС		
		LT8640	LTC7800	LTC3779
1	Низька вартість деталей	+	+	-
2	Низьке відношення сигналу до шуму	+	+	+/-
3	Діапазон частоти	+	+	-
4	Діапазон вхідної напруги	+/-	+/-	+

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Тепер проведемо аудит технологічних засобів, за використанням яких буде реалізовано проект. Результати наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології для реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Інтегрована мікросхема	LT8640	У наявності	У відкритому доступі
2		LTC7800	У наявності	У відкритому доступі
3		LTC3779	У наявності	У відкритому доступі

Результати показують, що усі технології для реалізації є доступними.

5.3. Аналіз ринкового потенціалу для старту стартап-проекту

Наступним кроком стане аналіз ринку, що наведений у табл. 5.3.

Таблиця 5.3. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4-6
2	Загальний обсяг продажу, грн/ум.од	Середня ціна ліцензії на використання складає близько 15-25 тис. доларів
3	Динаміка ринку	Постійний ріст
4	Наявність обмежень для входу	Середній рівень конкуренції, при виборі рішення з безпеки довіряють в основному компаніям з репутацією
5	Особливі вимоги до стандартизації та сертифікації	Не передбачено чинним законодавством

У таблиці 5.4 приводяться можливі користувацькі групи, їх вимоги та потреби від додатку.

Табл. 5.4 Характеристика можливих користувачів стартапу

<i>№</i>	<i>Потреба, формуюча ринок</i>	<i>Цільова аудиторія проекту</i>	<i>Різниця поведінки цільових груп</i>	<i>Вимоги користувачів до розробки</i>
1	Потреба у забезпеченні електромагнітної сумісності. Низька ціна для користувача	Продюсери звукового контенту та компанії зі створення музики	Необхідність Встановлення низької ціни та задоволення стандартів якості звучання	Фактичні вимоги простоти у освоєнні та використанні електронної системи

Після визначення можливих цільових груп користувачів ринок було проаналізовано на наявність факторів загроз (табл. 5.5) та можливостей (табл. 5.6).

Таблиця 5.5. Фактори загроз

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Можлива конкуренція	Наявність на ринку електронних систем з використовуваними технологіями	Розширення функціоналу стартап-проекту та покращення вибору компонентів
2	Не велика потреба у ЕС	Можливість важкого старту запуску технології у масове використання	Проведення маркетингової компанії та демонстрація корисності синтезатора

Таблиця 5.6 Фактори можливостей

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Залучення необхідних інвестицій	Можливість вкладення інвестицій від різних інвестиційних фондів та інших компаній	Можливість розширення штату розробників

Загальні фактори конкуренції приводяться у таблиці 5.7.

В даній таблиці демонструється, що наявність конкуренції на міжнародному ринку невисока.

Таблиця 5.7. Ступеневий аналіз конкуренції ринку

<i>Специфіка конкурентного становища</i>	<i>Проява характеристики</i>	<i>Вплив на вектор дії компанії (потенційні кроки для підтримки конкурентоспроможності)</i>
1. Тип конкуренції: чиста	Наявність незалежної конкуренції на ринку	Націлення на стрімкий розвиток та технології
2. Рівень конкуренції: національна, міжнародна	Конкуренція з брендовими міжнародними компаніями	Робота на внутрішньому та міжнародному ринку
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Випуск пристрою з широким доступом	Фокусування на ринку конструювання електронних систем
4. Конкуренція товарним видом: товарно-видова	Наявність відомих конкурентів у сфері	Отримання авторитету, влаштовуючи спеціалістів сфери проекту
5. За інтенсивністю: марочна	Наявність відомих конкурентних брендів	Створення власного відомого та визнаваного бренду продукту

Функціонування на ринку має можливість, але для цього слід забезпечити конкурентну вартість та перелік можливостей розробленого продукту.

Узагальнення конкурентоспроможних аспектів показано у табл. 5.8.

Таблиця 5.8. Узагальнення аспектів конкурентоспроможності

<i>№</i>	<i>Аспект конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Низьке відношення сигналу до шуму (сигнал/шум)	Використання елементів у системі, що мають стабільну роботу та характеристики, які дозволяють зменшити шумові завади
2	Можливість використання проекту шляхом інтегрування системи у існуючі пристрої	Розробка системи базується на використанні інтегральних мікросхем
3	Ціна деталей для проекту	Встановлення рентабельної ціни у порівнянні із потенційними конкурентами

Наступним кроком проведено зіставлення сильних та слабких сторін проекту, які наведено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9. Демонстрація сильних та слабких сторін продукту

<i>№</i>	<i>Аспект конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>
1	Низьке відношення сигнал/шум	19
2	Можливість використання шляхом інтегрування у існуючі пристрої	20
3	Ціна деталей	18

Важливим кроком є SWOT-аналіз (табл. 5.10).

Таблиця 5.11. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Можливість використання шляхом інтегрування у існуючі пристрої	Слабкі сторони: ціна деталей
Можливості: проста інтеграція у існуючі системи синтезу	Загрози: відчутна ринкова конкуренція

Спираючись на проведений аналіз, сформовано альтернативні варіанти дій на ринку та заходи їхнього впровадження (рис. 5.11).

Таблиця 5.11. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№</i>	<i>Альтернативний варіант ринкової стратегії</i>	<i>Шанс отримати ресурси</i>	<i>Термін впровадження</i>
1	Зацікавлення проектом різних інших компаній на ринку	Продаж розробки та/або використання її зацікавленими особами	Декілька років (1 – 3)
2	Перетворення ідеї розробки на лад проекту з більш доступним вихідним кодом	Потенціал залучення досвідчених розробників та експертів з областей схемотехніки і звукотехніки	Менше 1-го року
3	Продаж реалізованих та виконаних у проекті технологій та рішень	Надання можливості розвитку на тих платформах, які не підтримуються конкурентами нижчою вартістю	Декілька місяців

Варто зазначити обрану альтернативу: продаж та поширення реалізованих у проекті відповідних технологій та рішень.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 5

У даному розділі описується та виконується аналіз стартап-проекту, визначено та показано слабкі та сильні сторони проекту, продемонстровано потенціал технічної можливості його розробки.

Проведено детальний аналіз потенційної стратегії ринку з орієнтацією на малий та середній бізнес, не використовуючи варіант переходу на великий бізнес через вже існуючі взаємодії із досвідченими учасниками на ринку.

Відповідно до стратегії позиціонування зроблено висновок, що є необхідність сфокусуватись на розвитку та розширенні навчального потенціалу конструювання пристроїв з готових деталей і плати, а також важливою є необхідність установа рентабельної низької ціни на продукт для успішного та ефективного входу на ринок та підтримання здорової конкуренції.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було запропоновано створення моделі електронної схеми забезпечення електромагнітної сумісності підвищеної ефективності. Розглянуті недоліки та переваги кожної з ІМС у використанні. Зазначено, що робота вимагає найвищої якості, тому при виборі в першу чергу потрібно було орієнтуватися на такі параметри, як коефіцієнт корисної дії та втрати потужності в схемі.

Практично було розглянуто 3 інтегральні мікросхеми та складено порівняльну таблицю для визначення пріоритетності вибору. Для отримання найкращого значення ККД значення сигнал/шум повинне бути мінімальним. У випадку з LT8640 хоч і трапляються викиди у спектрі ЕМЗ, проте вони незначні і не сильно впливають на значення ККД. Втрати потужності також мінімальні, що не сильно впливає на роботу схеми, враховуючи, що робочий температурний діапазон дозволяє працювати при підвищених температурах.

LT8640 вирізняється дуже низьким рівнем електромагнітних завад, що підходить в нашому випадку і тому вибір цієї мікросхеми був майже очевидним.

На основі даної магістерської дисертації в майбутньому може бути розроблена електронна схема з високим значенням ККД та мінімальними втратами потужності, яка буде ефективно забезпечувати електромагнітну сумісність.

Список використаної літератури

1. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Курс лекцій (Видання друге, виправлене)/ Автор і укладач В.В. Пілінський. – К. Національний Технічний Університет України «КПІ», 2009. – 426 с.
2. Кечиев Л.Н., Степанов П.В. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций. – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 320 с.
3. Иванов В.А., Ильницкий Л.Я., Фузик М.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – Киев: Техника, 1983. – 120 с.
4. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Пер. с англ. Под ред. А.И. Сапгира. Послесловие и комментарий А. Д. Князева. – М.: Сов. радио, 1977. – 352 с.
5. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – М.: Наука, 1985. – 276 с.
6. Електронні системи: навчальний посібник / Й.Й. Білінський, К.В. Огороднік, М.Й. Юкиш. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 208 с.
URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Bilynskiy_Yosyp/Elektronni_systemy.pdf
7. URL:
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskij_elektronni_systemy/12.htm
8. URL: <https://www.analog.com/en/design-center/ltpowercad.html>
9. Электронные системы и компоненты №3 – 2020 р. – 68 с.
- 10.URL: <https://www.analog.com/ru/products/ltc3779.html>
- 11.URL: <https://www.analog.com/ru/products/ltc3779.html>
- 12.URL: <https://www.analog.com/ru/products/ltc3779.html>
- 13.URL: <https://www.analog.com/ru/products/ltc3779.html>
- 14.URL: http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=78745
- 15.URL: http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=81621
- 16.URL: <https://www.analog.com/ru/products/ltc3779.html>

ДОДАТОК А

SUMMARY

The modern world needs many different devices for synthesis and processing of sound. Many of them are combined, and have the ability not only to create a sound signal, but also to process. One such tool is electronic systems, which often contain integrated circuits and are embedded.

This work is aimed at developing a model of an electronic system to ensure electromagnetic compatibility of high efficiency based on integrated circuits. The use of LT class ICs is proposed.

Electronic systems are systems that perform information processing in the form of a unit, node, device, complex. An electronic system can be considered as a single-stage amplifier or the most complex microprocessor system. Complex electronic systems often consist of subsystems because they cannot be described as resistors, transistors, capacitors, and so on.

Electromagnetic compatibility (EMC) of technical means is the ability of technical means to simultaneously function in real operating conditions with sufficient quality under the influence of external electromagnetic interference and not to create unacceptable electromagnetic interference to other technical means.

EMC requirements cover almost all electrical, electronic and electronic devices from toys and household appliances to various national, international and space electronic systems. The problem of EMC covers the levels: element base (components) - nodes - blocks - devices of complexes - systems - intersystem level.

There are five aspects to the EMC problem: engineering, economics, information security, marketing, and biology. Let's find out each of them separately:

1. *The engineering aspect* is that the specialist must know what tasks need to be formulated to provide EMC and how to solve them. To do this, he must:

- master the requirements for EMC;
- be familiar with the regulatory framework;
- be able to apply technical measures and tools to ensure EMC;
- have the skills to measure the characteristics and parameters associated with EMC.

2. *The economic aspect* is that it is necessary to develop and apply means of EMC support at the initial stages of equipment design - then the number of means is

almost unlimited, and the costs are minimal. In the process of developing electronic equipment, it is necessary to take into account the requirements of electromagnetic compatibility. There is an Interstate standard GOST 28934 "Compatibility of technical means electromagnetic. The content of the section of the technical task in terms of electromagnetic compatibility ", which must be taken into account at the stage of development of the technical task for the design of any electronic equipment or system.

3. *The aspect of information protection* is to provide protection against unauthorized access through the conductive and environmental environment. In modern human activity there is a threat of access to confidential information with the use of special technologies, without the consent of its owner.

4. *The marketing aspect* is that the EMC Directive of the European Parliament No. 2004/108 / EC requires testing for EMC requirements for any electrical, electronic, radio-electronic devices, equipment and systems, otherwise the EU market will not accept them. In particular, the CE mark on electronic means means that the product has been tested and complies with the standards specified in the relevant European standards for EMC and electrical safety.

5. *The biological aspect* is the possible negative impact of electromagnetic energy on human health and other biological objects. In this regard, the world has developed regulatory documents that establish permissible standards for electromagnetic radiation for humans. Thus, in Ukraine developed "State sanitary norms and rules for protection of the population from the effects of electromagnetic radiation" – 1996.

Electromagnetic interference (EMI) is an electromagnetic phenomenon that degrades or may degrade the quality of the operation of the vehicle (electronic network, devices and devices of users). EMI level - the value of the noise, measured under regulated conditions.

Electromagnetic perturbations can be divided into: artificial and natural; station and industrial; intentional and unintentional. Recall that electromagnetic disturbances that degrade the quality of equipment, transmission channel or system are called electromagnetic interference. Among the natural disturbances, the most common are

lightning (frequencies up to 10 MHz) and space phenomena (frequencies above 10 MHz). By the way, every second in the Earth's atmosphere up to 100 lightning.

The word "system" comes from the Greek "composed" and means a group of different objects that are combined to form a whole and function in harmony and subject to a single form of government.

This definition can also be applied to an electronic system (EC) in its general form: a set of electronic components that are interconnected and act as a whole due to special control signals and perform the required function.

Thus, an electronic system is any electronic node, unit, device or complex that performs information processing.

In this case, any device (from a single-stage amplifier to the most complex microprocessor system) can be considered as an electronic system. But there is a significant difference between a microprocessor system and a single-stage amplifier in terms of describing the details of each system. It is almost impossible to describe a microprocessor system in the form of components of resistors, capacitors, transistors, which describe the amplifier. Therefore, to describe such a system, it is necessary to group a number of components into functional blocks. This functional unit is called a black box or subsystem.

Real-time systems must respond to external input parameters and create new output results in a limited time, as shown in Fig. 1. Response time should be limited. Very long response times can cause real-time systems to fail.

An illustrative example of a real-time system is a car airbag controller. When the airbag motion sensors (accelerometers) detect a collision, the system must respond by opening the airbag for 10 ms or the system will not operate properly. At high speeds with a delay of more than 10 ms, the driver will collide with the steering wheel before the cushion opens.

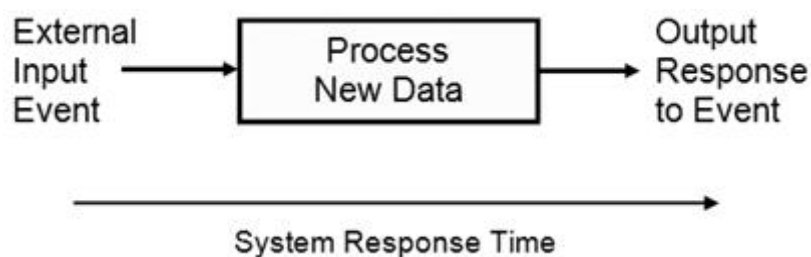


Figure 1 - Real-time system

Analog Devices has released a new version of LTpowerCAD II, which allows the design of switching power supplies based on ICs and micromodules produced by the company. Consider briefly its possibilities. To speed up the development of this software environment, Analog Devices offers recommendations for rapid development of work and detailed descriptions of the capabilities and procedures for working with the design environment.

The parameters are entered at the top of the window of the Supply Design module (Fig. 2).

Converter Topology (Converter Topology), if necessary, can be selected from the list (Fig. 3), and the type of Converter (Converter Type) - from the list in Fig. 4.

LTpowerCAD II V2.7.0

ANALOG DEVICES
"AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE!"

Converter Specification

Converter Topology: All

Converter Type: All

Min. Input Voltage: 8 V

Nom. Input Voltage: 12 V

Max. Input Voltage: 40 V

Num. of Output Rails: One

Max. Num. Parallel Phases: 1

Output Rail 1

Vout1: 5 V

Iout1: 5 A

Find Part #: (####) Go

PWM Converters LDOs

Figure 2 - Initial data for power supply design

Converter Specification

Converter Topology: All

Converter Type: All

Min. Input Voltage

Nom. Input Voltage

Max. Input Voltage

Num. of Output Rails

Max. Num. Parallel Phases

Converter Topology List:

- All
- Buck
- Boost
- BuckBoost
- Sepic
- Cuk
- InvertingBuckBoost
- Flyback
- ChargePump

Figure 3 - List of available converter topologies

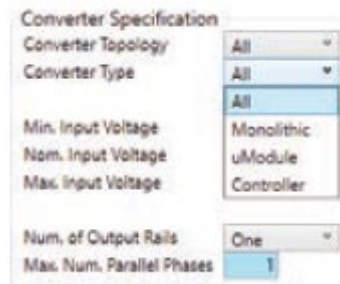


Figure 4 - List of available types of converters

A distinctive feature of the new version of the LTpowerCAD II program from the previous version is the presence of a utility for designing a noise-reducing filter. After pressing the EMI Filter Design button, a window opens with the schematic diagram of the EMI suppression filter, the functional circuit for measuring conductive interference and the frequency dependence of the level of electromagnetic interference (EMC).

The main task of the project is to create a model that will provide electromagnetic compatibility with increased efficiency. The number of interferences should be kept to a minimum and the signal quality should be at the highest level.

In this paper, it was proposed to create a model of an electronic circuit to ensure electromagnetic compatibility of high efficiency. The disadvantages and advantages of each of the ICs in use are considered. It is noted that the work requires the highest quality, so when choosing first of all it was necessary to focus on such parameters as efficiency and power loss in the scheme.

Practically, 3 integrated circuits were considered and a comparative table was compiled to determine the priority of choice. For the best efficiency value, the signal / noise value should be minimal. In the case of LT8640, although emissions occur in the EMF spectrum, they are insignificant and do not significantly affect the efficiency value. Power losses are also minimal, which does not greatly affect the operation of the circuit, given that the operating temperature range allows you to work at elevated temperatures.

LT8640 has a very low level of electromagnetic interference, which is suitable in our case and therefore the choice of this chip was almost obvious.

Based on this master's thesis in the future can be developed an electronic circuit with a high value of efficiency and minimal power loss, which will effectively ensure electromagnetic compatibility.