

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.391.823

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/39>**Макаренко В.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лукашев О.Ю.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА РІВЕНЬ СТВОРЮВАНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

У статті наведені результати дослідження основних параметрів DC/DC-перетворювачів, реалізованих за різними топологіями. Оскільки існує велика кількість схемних рішень імпульсних перетворювачів енергії, то основною метою статті було виявлення залежності рівня кондуктивних електромагнітних завад, створюваних при їх роботі, від топології схеми.

Для порівняльного аналізу різних перетворювачів всі досліди проводилися при значенні вихідної напруги 20 В і струмі навантаження 0.2 А, незалежно від того який він – понижуючий, підвищуючий або універсальний. Аналіз роботи перетворювачів у процесі моделювання в середовищі LTspice при інших значеннях вихідної напруги та струму підтвердив отримані при заданих параметрах результати. Для виключення впливу параметрів силових ключів і діодів в усіх розроблених моделях використовувалися ідеалізовані ключі та діоди, а частота комутації в усіх дослідках дорівнювала 100 кГц. Управління значенням вихідної напруги здійснювалося шляхом регулювання тривалості імпульсів управління.

Запропоновані в роботі моделі, розроблені для роботи в середовищі LTspice XVII, дозволяють досліджувати коефіцієнт корисної дії, спектри кондуктивних завад, які створюються при роботі перетворювача, та рівень пульсації вихідної напруги.

Дослідження проводилися для трьох груп DC/DC-перетворювачів залежно від співвідношення вхідної напруги до вихідної. Було розглянуто понижуючі, підвищуючі та понижуючо-підвищуючі перетворювачі. Для кожної з моделей експериментально знаходилися мінімальні та максимальні значення вхідної напруги, за яких перетворювач забезпечував задані параметри вихідної напруги та струму. В межах діапазону зміни вхідної напруги вимірювалися значення коефіцієнта корисної дії, рівень пульсації вихідної напруги та спектр кондуктивних завад струму, який споживається від джерела вхідної напруги.

Проведені дослідження дозволили встановити, як змінюються рівень електромагнітних завад і коефіцієнт корисної дії кожного з перетворювачів в межах робочого діапазону вхідної напруги. Порівняння рівня завад здійснювалося за рівнем найбільшого складника в спектрі струму, що споживається від джерела вхідної напруги.

В результаті проведених досліджень встановлено, що рівень електромагнітних завад, створюваних DC/DC-перетворювачем, здебільшого залежить від обраної топології. Порівняння отриманих для різних моделей результатів для кожної з груп перетворювачів дозволило зробити низку висновків і рекомендацій щодо вибору їх топології.

Ключові слова: кондуктивна завада, спектр, топологія, перетворювач, гальванічна розв'язка, трансформатор, пульсації напруги, моделювання, спектральний складник.

Постановка проблеми. Основним завданням при проектуванні DC/DC-перетворювачів є забезпечення низького рівня вихідних пульсацій напруги та струму (voltage / current ripple), високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та оптимізація масо-габаритних характеристик пристрою. Ще

одним важливим параметром будь-якого перетворювача є рівень електромагнітних завад (ЕМЗ), який створюються при роботі таких перетворювачів.

Якщо дослідження вказаних вище параметрів проводилося для окремих типів перетворювачів,

то порівняльний аналіз впливу топології різних типів перетворювачів на рівень ЕМЗ в доступних джерелах відсутній. Отже, проведення такого дослідження дозволить більш обґрунтовано підходити до вибору топології DC/DC-перетворювача для вирішення конкретних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітні методи зменшення ЕМЗ та ККД DC/DC-перетворювачів (такі як технологія розширення спектру чи використання демпферів) описано в джерелах [1–3], але рішення, пов'язані зі зменшенням ЕМЗ шляхом вибору оптимальної топології, фактично не розглядалися. Так, у роботі [4, с. 3] на прикладі топології понижуючого синхронного перетворювача розкривається залежність між режимом управління силовими ключами та ККД перетворювача. Проте дослідження, чи є ця топологія з групи понижуючих перетворювачів найкращою в групі з точки зору рівня створюваних кондуктивних завад, відсутнє. В роботі [5, с. 5] на прикладі повномостового підвищуючо-понижуючого перетворювача проведено аналіз впливу топології вхідного та вихідного фільтрів на рівень ЕМЗ, але не розглянуто вплив топології на рівень ЕМЗ. Отже, дослідження впливу топології перетворювачів на їх енергоефективність та рівень ЕМЗ дозволить сформулювати рекомендації щодо її вибору для досягнення найкращого результату.

Постановка завдання. Провести аналіз впливу топології імпульсних перетворювачів напруги на рівень ЕМЗ, створюваних при його роботі, при одночасному аналізі його найважливіших параметрів, а саме коефіцієнта корисної дії, рівня пульсацій вихідної напруги та діапазону зміни вхідної напруги. На основі проведених досліджень сформулювати рекомендації щодо доцільності використання тієї чи іншої топології перетворювача.

Оскільки теоретичний розрахунок рівня ЕМЗ, створюваний імпульсними перетворювачами напруги, здебільшого практично не можливий, то порівняти властивості перетворювачів можна за допомогою імітаційного моделювання, використовуючи *spice*-симулятори. Отже, однією з задач дослідження є створення таких моделей перетворювачів, які дозволять досліджувати не тільки форму сигналів, їх значення, але й рівень ЕМЗ, тобто спектр кондуктивних завад, які розповсюджуються проводами від джерела живлення до входу перетворювача.

Матеріал і результати дослідження. Найчастіше для управління силовими ключами DC/DC-перетворювачів використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Зміна тривалості

імпульсів управління при фіксованому періоді дозволяє регулювати рівень напруги на виході, а автоматичне регулювання тривалості імпульсів залежно від рівня напруги вхідного сигналу та струму навантаження дозволяє забезпечити стабільну роботу перетворювача в широкому діапазоні вхідної напруги.

Будь-який DC/DC-перетворювач містить у своєму складі котушки індуктивності (за виключенням перетворювачів на комутованих конденсаторах), конденсатори і транзисторні ключі. Індуктивність котушки залежить від значення максимального вихідного струму, вхідної та вихідної напруги, частоти комутації силового ключа та рівня пульсацій вихідної напруги. Індуктивність котушок для досліджуваних перетворювачів з урахування рекомендацій наведених у [6, с. 2], розрахована за формулою:

$$L = (U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{вих}}) \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх.макс}}} \cdot \frac{1}{f_{\text{sw}}} \cdot \frac{1}{I_{\text{вих.макс}} - K_{LIR}}$$

де $U_{\text{вих}}$ – напруга на виході перетворювача, K_{LIR} – коефіцієнт пульсацій струму, протікаючого через котушку індуктивності, f_{sw} – частота комутації силових ключів перетворювачів.

Значення частоти комутації силових ключів перетворювачів було обрано однаковим для розглянутих у статті перетворювачів і становило 100 кГц. Значення коефіцієнта K_{LIR} було обрано рівним 0.3, що є компромісом між коефіцієнтом корисної дії перетворювача та тривалістю перехідного процесу при різких змінах вихідного струму. Ємність вихідного конденсатора фільтра розраховано за формулою [6, с. 3]:

$$C = \frac{L}{(\Delta U + U_{\text{вих}})^2 - U_{\text{вих}}^2} \cdot \left(I_{\text{вих.макс}} + \frac{\Delta I_{\text{IND}}}{2} \right)^2,$$

де ΔU – максимально допустима амплітуда пульсацій вихідної напруги, а ΔI_{IND} розраховується за формулою:

$$\Delta I_{\text{IND}} = K_{LIR} \cdot I_{\text{вих.макс}}$$

Значення величини пульсацій вихідної напруги ΔU було обрано однаковим для всіх перетворювачів і дослідів – 100 мВ. В якості ключів було обрано ідеальні компоненти, робота яких не залежить від пікових значень напруги та струму.

На Рис. 1 наведені функціональні схеми понижуючих DC/DC-перетворювачів з різною топологією. Для аналізу роботи перетворювачів всі моделі для дослідження були розроблені для використання в середовищі LTspice XVII.

На Рис. 2 наведена модель понижуючого (чоперного) перетворювача напруги. Для прискорення процесу аналізу в моделі, наведеній на Рис. 2, використані ідеалізовані елементи (аналогічно в усіх розглянутих у статті моделях), параметри яких не змінюються при зміні струму або напруги, а задаються користувачем. Оскільки метою дослідження є порівняння рівня ЕМЗ, то вплив параметрів силових ключів і діодів потрібно виключити, що і реалізується ідеалізованими компонентами.

Початок і тривалість процесу моделювання, а також час початку збереження отриманих результатів задає директива **.tran**. Час початку збереження результатів повинен перевищувати час перехідного процесу після початку роботи перетворювача. Для його вимірювання на першому кроці моделювання задається нульовий час затримки для фіксації результатів моделювання і по часових діаграмах сигналів знаходиться тривалість перехідного процесу. На другому кроці час початку збереження результатів задається на 10-20% більше часу перехідного процесу і проводяться всі дослідження.

Директиви **.model** задають основні параметри ключів (SW) і діодів (D). Для моделювання використані ідеалізовані ключі та діоди, параметри яких фіксовані. Внутрішній опір відкритого ключа та діода дорівнює 0.1 Ом, а падіння напруги на діоді – 0.4 В.

Директива **.four** дозволяє виконати аналіз Фур'є сигналів вхідного струму $I(V1)$ та вихідної напруги V_{OUT} . За допомогою директиви **.meas** обчислюється ККД перетворювача шляхом обробки отриманих при симуляції вихідних даних. Результат присвоюється змінній **eff**, яка відповідає співвідношенню середньоквадратичного значення потужності, що споживається навантаженням, до потужності, що споживається від джерела живлення за формулою: $eff = P_{out}/P_{in}$.

Для коректного порівняння результатів моделювання значення вихідної напруги та струму навантаження задаються однаковими для всіх типів перетворювачів і становлять $U_{вих} = 20$ В, $I_{вих.макс} = 0.2$ А. Діапазон зміни вхідної напруги визначався експериментально для кожного типу перетворювача. Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{t_{on}}{T_s} = D,$$

де T_s – період слідування імпульсів управління, t_{on} – тривалість імпульсу, D – відношення тривалості імпульсів до періоду слідування.

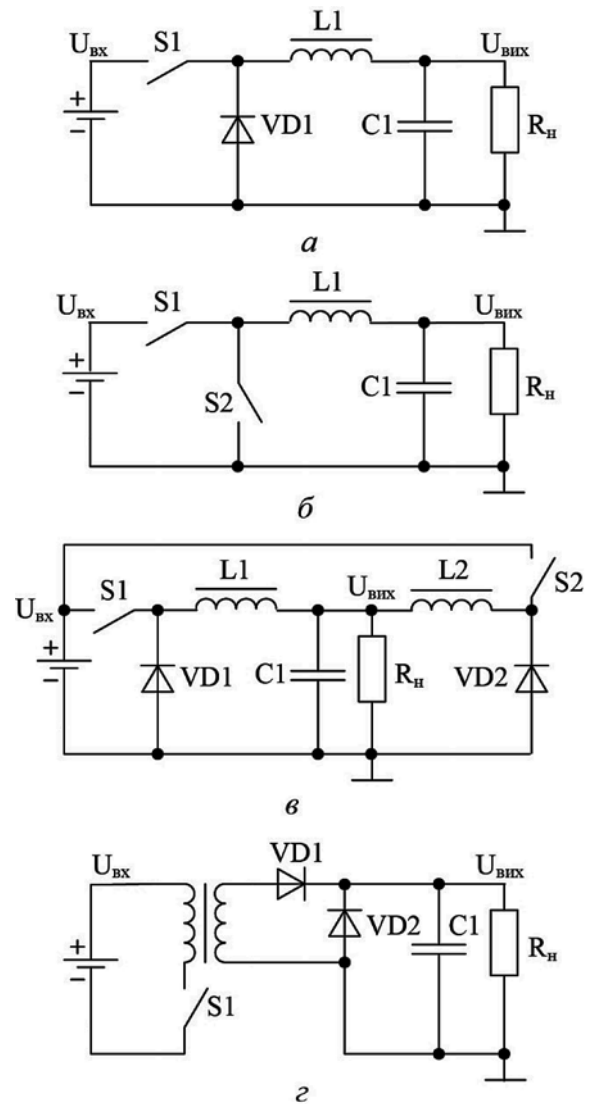


Рис. 1. Функціональні схеми чоперного (а), синхронного (б), двотактного (в) та прямоходового (г) понижуючих перетворювачів

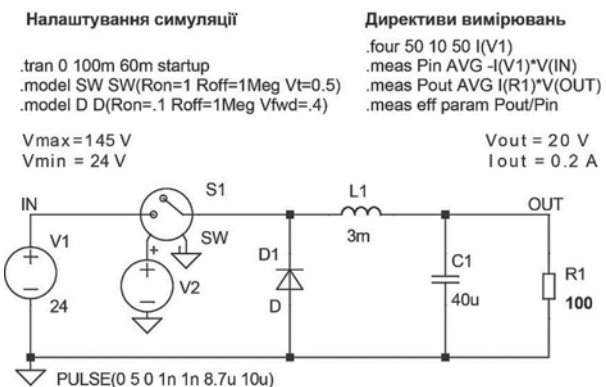


Рис. 2. Модель найпростішого понижуючого (чоперного) DC/DC-перетворювача

Щоб визначити оптимальну з точки зору ЕМЗ топологію в групі понижуючих перетворювачів, було проведено дослідження з метою порівняння

рівня спектральних складників завади для різних перетворювачів понижуючого типу при максимальному та мінімальному значеннях вхідної напруги. Рівень ЕМЗ оцінювався за рівнем найбільшого спектрального складника струму, споживаного від джерела живлення (Рис. 3).

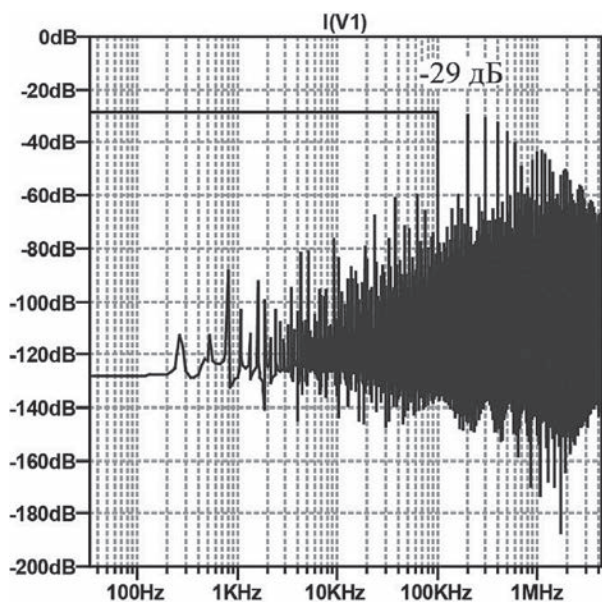


Рис. 3. Спектр вхідного струму понижуючого (чоперного) перетворювача при мінімальній вхідній напрузі

Для кожної з досліджуваних моделей проводилися вимірювання вхідних і вихідних струмів та напруги при мінімальному та максимальному значеннях вхідної напруги. Тривалість імпульсу управління силовими ключами знаходилась експериментально для досягнення максимально широкого діапазону зміни вхідної напруги. В Табл. 1 наведені результати вимірювання

параметрів понижуючих DC/DC-перетворювачів при максимальній та мінімальній вхідній напругах.

Рівень пульсації напруги на виході в жодному з дослідів не перевищував розрахункового, а саме 100 мВ. Це підтверджує правильність розрахунків номіналів елементів досліджуваних моделей. За результатами моделювання найнижчий рівень ЕМЗ має синхронний понижуючий перетворювач.

При максимальній вхідній напрузі рівень завади на 3 дБ, а при мінімальній близько на 1 дБ нижчий порівняно з класичним (чоперним) понижуючим перетворювачем. Спектри сигналів струму, споживаного від джерела живлення, для найгіршого та найкращого випадку наведені на Рис. 4 та 5.

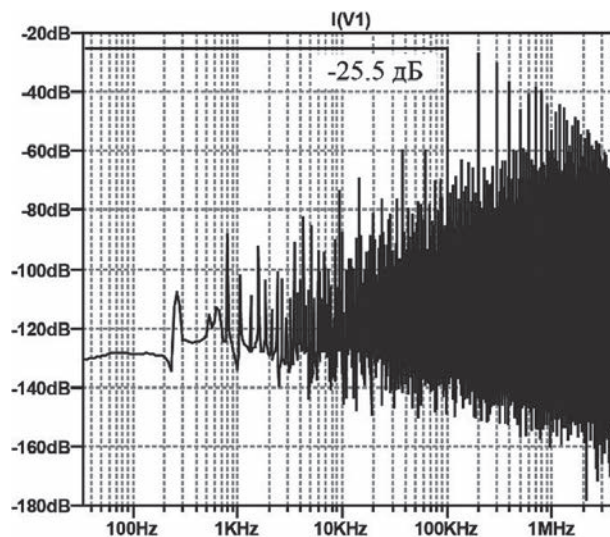


Рис. 4. Спектр струму на вході двофазного понижуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

Таблиця 1

Результати дослідження перетворювачів понижуючого типу

Топологія	U _{вх} ^н (макс. /мін.) В	ККД, %	Максимальний рівень гармонік завади, дБ		Пульсації вихідної напруги ΔU _{п-п} , мВ	U _{вих} /I _{вих} , В/А
			на вході	на виході		
Понижуючий (чоперний) перетворювач	145	97.7	-28.2	-105	10	20/0.2
	24	98.8	-29	-121	0.1	20/0.2
Синхронний понижуючий перетворювач	202	97.4	-31	-85.5	4	20/0.2
	22.5	98.9	-30	-104	10	20/0.2
Двофазний понижуючий перетворювач	105	97.8	-25.5	-132	1	20/0.2
	24	99.2	-28.2	-115	0.5	20/0.2
Прямоходовий	141	92.5	-27.6	-105	1	20/0.2
	22.9	92.2	-30.5	-123	0.5	20/0.2

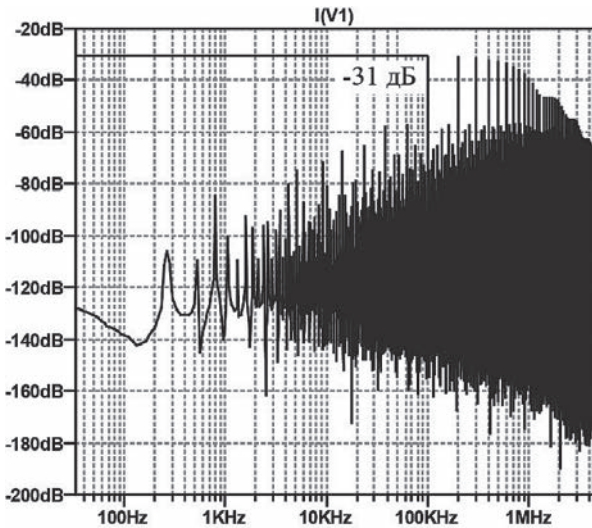


Рис. 5. Спектр струму на вході синхронного понижуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

Для розробки моделей та аналізу підвищуючих перетворювачів використані функціональні схеми, наведені на Рис. 6.

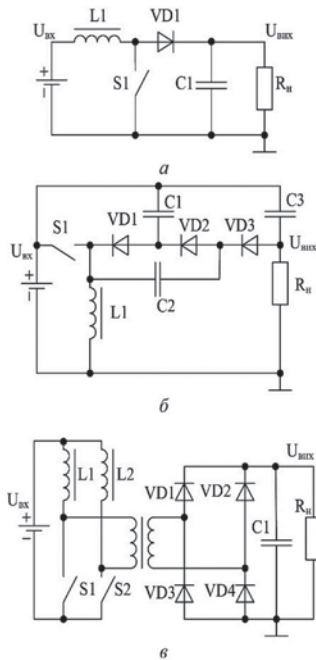


Рис. 6. Функціональні схеми класичного (а), з додатковим конденсатором (б) та із гальванічною розв'язкою (в) підвищуючих DC/DC-перетворювачів

Модель класичного підвищуючого перетворювача для аналізу в середовищі LTspice XVII наведена на Рис. 7.

Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

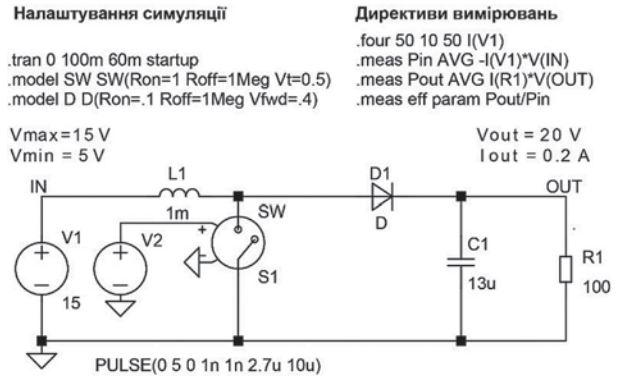


Рис. 7. Модель для дослідження класичного підвищуючого DC/DC-перетворювача

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{T_s}{T_s - t_{\text{on}}} = \frac{D}{1 - D}$$

Результати вимірювання параметрів прямоходового DC/DC-перетворювача при максимальній і мінімальній вхідній напругах наведені в Табл. 2.

Так, перетворювач із додатковим конденсатором має найнижчий ККД, забезпечує найнижчий рівень ЕМЗ, що на 15-20 дБ менше, ніж в інших перетворювачів.

Спектри сигналів струму на вході підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором і класичного підвищуючого перетворювача наведені на Рис. 8 і 9.

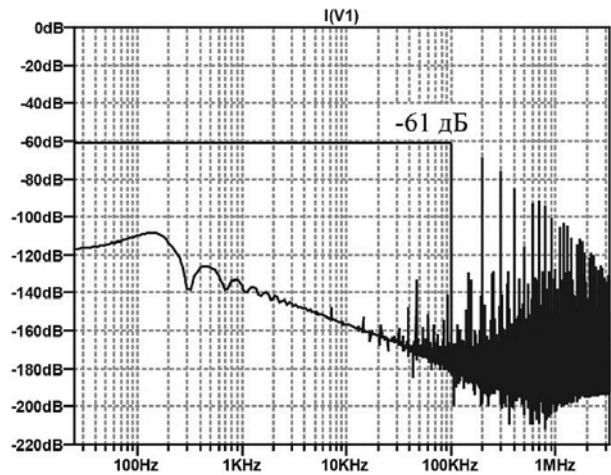


Рис. 8. Спектр струму на вході підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором при максимальній вхідній напрузі

Навіть характер спектру значно відрізняється для вказаних типів перетворювачів. У підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором спектр спадає зі швидкістю 6 дБ/октаву, починаючи з частоти 200 Гц, що і забезпечує найнижчий

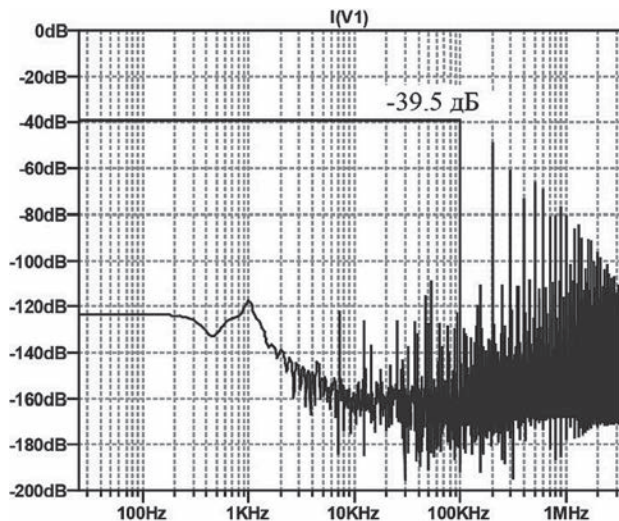


Рис. 9. Спектр струму на вході класичного підвищуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

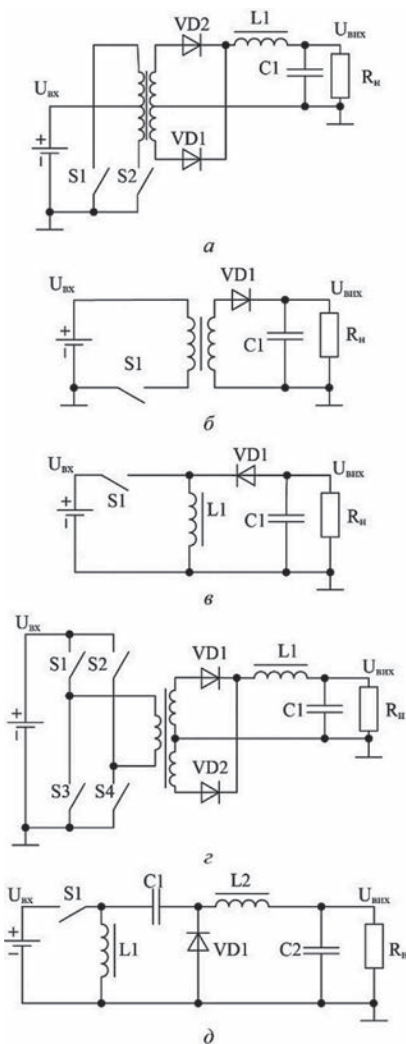


Рис. 10. Функціональні схеми двотактного (а), зворотньо-ходового (б), інвертуючого (в), повномостового (г) та Zeta (д) підвищуючо-понижуючих перетворювачів

рівень завади. Понижуючо-підвищуючі перетворювачі залежно від коефіцієнта заповнення імпульсів управління можуть як підвищувати, так і знижувати вихідну напругу відносно вхідної.

На Рис. 10 наведені функціональні схеми понижуючо-підвищуючих перетворювачів деяких типів.

Модель двотактного прямоходового понижуючо-підвищуючого перетворювача для аналізу в середовищі LTSpice XVII наведена на Рис. 11.

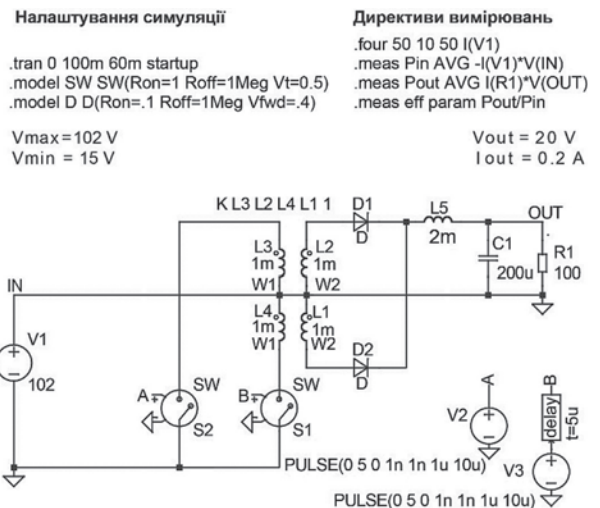


Рис. 11. Модель двотактного прямоходового понижуючо-підвищуючого перетворювача

Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 2 \frac{W_2}{W_1} \left(\frac{t_{\text{on}}}{T_s} \right) = 2D \frac{W_2}{W_1},$$

де W_2 та W_1 – кількість витків обмоток трансформатора.

Результати вимірювання параметрів понижуючо-підвищуючих DC/DC-перетворювачів при максимальній і мінімальній напругах вхідного сигналу наведені в Табл. 3.

Всі перетворювачі цієї групи мають низький рівень пульсацій напруги на виході і не перевищують розрахунковий максимум у 100 мВ. З точки зору ККД всі перетворювачі, крім інвертуючого та повномостового, при мінімальній вхідній напрузі мають високий рівень ефективності (вище 96%) на всьому діапазоні зміни вхідної напруги. З точки зору ЕМЗ кращим є двотактний понижуючо-підвищуючий перетворювач. При мінімальній вхідній напрузі в режимі підвищення вхідної напруги він створює рівень завад на 20 дБ менше відносно зворотньо-ходового перетворювача в

такому ж режимі роботи. Найгірший результат було отримано при мінімальному значенні вхідної напруги для перетворювача типу Zeta. Спектри сигналів струму на вході для перетворювача типу

Zeta та двотактного перетворювача наведені на Рис. 12 і 13.

На Рис. 14 наведені графіки залежності рівня гармонік завади від рівня вхідної напруги

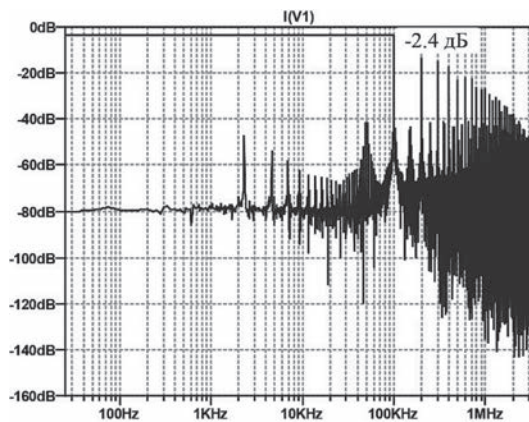


Рис. 12. Спектр струму на вході підвищуючо-понижуючого перетворювача типу Zeta при мінімальній вхідній напрузі

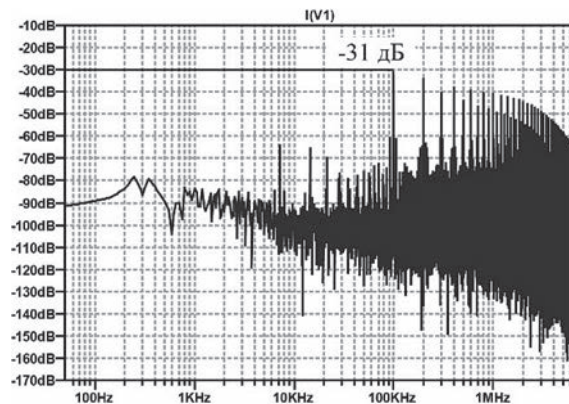


Рис. 13. Спектр струму на вході підвищуючо-понижуючого двотактного перетворювача при мінімальній вхідній напрузі

Таблиця 2

Результати дослідження перетворювачів підвищуючого типу

Тип перетворювача	$U_{вх}$, (макс. / мін.) В	ККД, %	Максимальний рівень гармоніки завади, дБ		$\Delta U_{вх*п-п}$, мВ	$U_{вх}/I_{вх}$, В/А
			на вході	на виході		
Класичний підвищуючий перетворювач	15	97.4	-39.5	-79	20	20/0.2
	5	81.6	-41.61	-69.7	60	
Підвищуючий перетворювач із гальванічною розв'язкою	10.5	92.0	-45.6	-87.9	10	
	5.76	85.3	-26.2	-82	20	
Підвищуючий перетворювач із додатковим конденсатором	15.8	84.7	-61	-82	10	
	6.7	74.9	-58.6	-71.7	20	

Таблиця 3

Результати дослідження понижуючо-підвищуючих перетворювачів

Тип перетворювача	$U_{вх}$, (макс. / мін.) В	Режим роботи	ККД, % при $U_{вх}$ макс. / мін.	Макс. рівень гармоніки завади, дБ		$\Delta U_{вх*п-п}$, мВ	$U_{вх}/I_{вх}$, В/А
				на вході при $U_{вх}$ (макс. / мін.)	на виході при $U_{вх}$ (макс. / мін.)		
Двотактний	102/21	Пониж.	98.6/90.6	-25.7/-30.3	-133/-280	1	20/0.2
	19/15	Підвищ.	92.3/96.1	-30.5/-31	-220/-159	1	
Зворотньо-ходовий	184/21	Пониж.	97.8/97.8	-30/-14	-88/-73	10	
	19/4.3	Підвищ.	97.6/97	-13.4/-11	-72.1/-69	80	
Інвертуючий	184/21	Пониж.	96.8/95.9	-30/-14.8	-98/-82.9	5	
	19/4.3	Підвищ.	95.2/51.1	-13.6/-11	82.1/-79.1	10	
Повномостовий	65/21	Пониж.	96.2/94.3	-21.6/-17.8	-120/-134	90	
	19/15	Підвищ.	94.3/94.0	-18.1/-26.6	-138/-150	3	
Zeta перетворювач	34/21	Пониж.	92.4/90.0	-14.9/-11.2	-65.5/-63.3	80	
	19/6	Підвищ.	88.3/69.2	-9.3/-2.4	-63/-61	100	

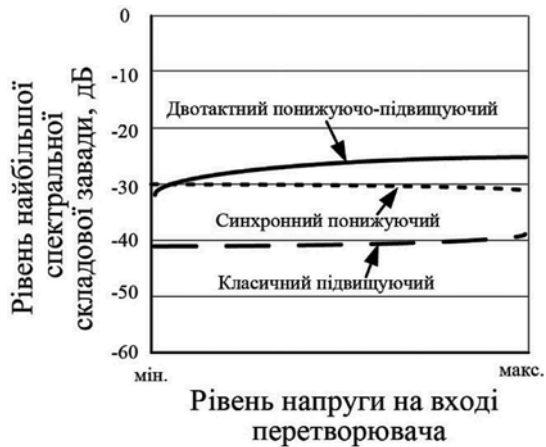


Рис. 14. Залежності рівня гармонік завади від рівня вхідної напруги в спектрі вхідного струму

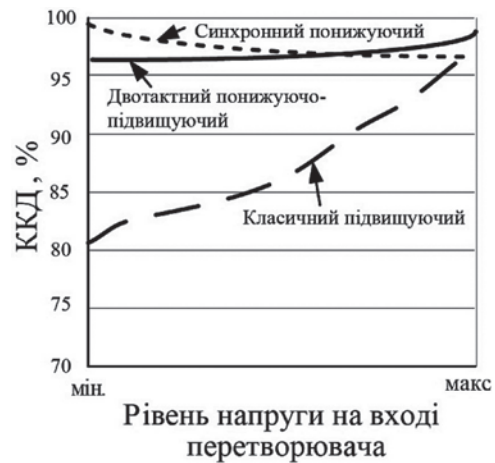


Рис. 15. Залежності ККД від рівня вхідної напруги перетворювачів різного типу

в спектрі вхідного струму для різних типів перетворювачів із найкращими показниками ЕМЗ, а на Рис. 15 – залежність ККД тих же перетворювачів від рівня вхідної напруги.

З наведених графіків вбачається, що найвища залежність ККД від вхідної напруги спостерігається у підвищуючого DC/DC-перетворювача, в той час як у перетворювачів іншого типу ця залежність виражена набагато менше. Рівень ЕМЗ здебільшого залежить від типу перетворювача –понижуючого, підвищуючого чи універсального, а в межах одного типу ця залежність менш виражена, крім універсального перетворювача. Аналіз роботи перетворювачів у процесі моделювання в середовищі LTspice при інших значеннях вихідної напруги та струму підтвердив отримані при заданих для дослідів параметрах результати.

Висновки. Під час досліджень було проаналізовано три функціонально різні групи імпульсних перетворювачів постійної напруги. За результатами аналізу можна зробити висновки про потенційні можливості перетворювачів, побудованих за різною топологією:

1. Рівень створюваних DC/DC-перетворювачем завад здебільшого залежить від його топології.

2. Найкращі параметри як за рівнем ЕМЗ, так і за ККД і діапазоном вхідної напруги забезпечує

синхронний перетворювач у групі понижуючих перетворювачів.

3. У групі підвищуючих перетворювачів найнижчий рівень ЕМЗ забезпечує перетворювач із додатковим конденсатором, але ККД такого перетворювача не перевищує 85% у найкращому випадку. Більш збалансований за параметрами класичний підвищуючий перетворювач. Він забезпечує ККД до 97.4%, але рівень ЕМЗ більший на 17 дБ порівняно з перетворювачем із додатковим конденсатором.

4. У групі підвищуючо-понижуючих перетворювачів найкращі характеристики за всіма параметрами забезпечує двотактний прямоходовий перетворювач.

5. Перетворювачі з двома ключами забезпечують більш високий ККД незалежно від того, встановлено максимальне чи мінімальне значення вхідної напруги. Це пояснюється тим, що наявність двох ключів покращує відбір вхідної потужності протягом всього робочого циклу.

6. Наведені в роботі результати дозволяють оцінити потенційні можливості перетворювачів, реалізованих за різними топологіями, і зробити обґрунтований вибір топології залежно від вимог до перетворювача.

Для більш точної оцінки потенційних можливостей перетворювачів постійної напруги необхідно додатково провести дослідження залежності рівня ЕМЗ від швидкості перемикання силових ключів і від типу транзисторів для їх реалізації.

Список літератури:

1. Макаренко В.В. Топология импульсных преобразователей постоянного напряжения. *Электронные компоненты и системы*. 2007. № 1. С. 27–32.
2. Макаренко В., Пилинский В. Анализ эффективности использования технологии Spread Spectrum для снижения уровня кондуктивных помех DC/DC-преобразователей. *Електротехнічні і комп'ютерні системи*. 2017. № 24. С. 98–104.

3. Fang Lin Luo, Hong Ye. *Advanced DC/DC converters*. CRC Press. 2004. 762 p.
4. Nowakowski R., Ning T. Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters. *Analog Applications Journal*. 2009. P. 15–20.
5. Nadler A. EMC & Efficiency Optimization of High Power DC/DC Converters. *Würth Elektronik*. 2018. 12 p.
6. Мельниченко А. Методика расчета понижающего преобразователя напряжения. *Электронные компоненты и системы*. 2011. № 11. С. 24–29.
7. Кадацкий А.Ф., Русу А.П. Анализ принципов построения и режимов работы импульсных преобразователей электрической энергии. *Практическая силовая электроника*. 2016. № 2(62). С. 10–24.
8. Петров С. Двухтактный повышающий преобразователь: развитие топологии. *Силовая электроника*. 2015. № 1. С. 44–50.

Makarenko V.V., Lukashev O.Yu. THE INFLUENCE OF DC/DC CONVERTER TOPOLOGY ON THE LEVEL OF CREATED ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE

The article presents the results of the study of the basic parameters of DC/DC converters, implemented according to different topologies. Since there are a large number of circuit solutions of impulse energy converters, the main purpose of the article was to identify the dependence of the level of conductive electromagnetic interference created during their operation on the circuit topology.

For comparative analysis of different converters, all experiments were carried out at a value of the output voltage of 20 V and a load current of 0.2 A, regardless of whether it is a step-down, step-up or universal. The analysis of the operation of the converters in the process of modeling in the LTspice environment at other values of the output voltage and current confirmed the results obtained at the given parameters, the results. In order to eliminate the influence of the parameters of the power switches and diodes in all the developed models, idealized switches and diodes were used, and the switching frequency in all experiments was equal to 100 kHz. The output voltage was controlled by controlling the duration of the control pulses.

Models designed to work in LTspice XVII offer the ability to investigate the efficiency, the conductive noise spectra of the converter, and the level of output voltage ripple. Studies were conducted for three groups of DC/DC converters depending on the ratio of the input voltage to the output. Down, up, down and down converters were considered.

For each model, there were experimentally minimum and maximum values of the input voltage at which the converter provided the specified parameters of the output voltage and current. At the boundaries of the range of change of the input voltage, the values of the efficiency, the level of ripples of the output voltage and the range of conductive noise interferences consumed from the source of the input voltage were measured.

The conducted researches have allowed to establish how the level of electromagnetic interference and the efficiency of each of the converters within the working range of the input voltage are changing. Noise level comparisons were made on the level of the largest component in the current spectrum.

Key words: *conductive interference, spectrum, topology of converter, galvanic isolation, transformer, voltage ripple, modelling, spectral component.*