

# ЗМЕНШЕННЯ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД НА ВХОДІ ТРАНЗИСТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З НАКОПИЧУВАЛЬНИМ ДРОСЕЛЕМ

В.К. Гурін, В.О. Павловський, канд.техн.наук, О.М. Юрченко\*, докт.техн.наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

Описано та проаналізовано нетрадиційний метод ефективного зменшення несиметричних кондуктивних завад від перетворювача напруги з накопичувальним дроселем. Для цього за допомогою накопичувального дроселя спеціальної конструкції генерується негативна ємність, яка компенсує паразитну ємність «силові кола перетворювача – корпус». Це різко зменшує струм несиметричної завади перетворювача і, як наслідок, напругу завади. У доповіді показано залежність необхідної ємності конденсатора для компенсації завад від магнітного зв'язку між обмотками накопичувального дроселя. За допомогою програми PSPICE була перевірена ефективність згаданого вище методу. Моделювання показало, що запропонований метод у десятки разів зменшує інтенсивність несиметричних радіозавад перетворювача у регламентованому діапазоні частот від 150 кГц до 30 МГц дуже простими схемотехнічними та конструктивними засобами. Бібл. 3, рис. 2.

**Ключові слова:** перетворювач напруги, несиметрична радіозавада.

**Вступ.** Сучасні транзисторні перетворювачі напруги генерують інтенсивні електромагнітні завади у широкому діапазоні частот, які проникають у мережу електроживлення у вигляді напруги кондуктивних завад. Традиційним засобом зменшення завад від перетворювачів є електромережні фільтри, але вони інколи займають до 30 % і більше від об'єму, маси та вартості перетворювача. Тому для більшості силових транзисторних перетворювачів напруги, а особливо для тих, що застосовуються у бортових системах електроживлення, надзвичайно актуальними і важливими є методи зменшення кондуктивних завад до заданого рівня без використання електромережних фільтрів.

У роботах [2,3] запропоновано та описано новий метод зменшення несиметричних завад, генерованих перетворювачем з накопичувальним дроселем, який не потребує застосування електромережних фільтрів. Автори показали, що для широкого класу перетворювачів напруги основною причиною інтенсивних несиметричних завад є паразитна ємність між силовими колами перетворювача і його корпусом, і можна створити такий накопичувальний дросель, який буде генерувати від'ємну ємність заданого значення для компенсації згаданої вище паразитної ємності; це значно зменшить струм несиметричної завади і, як наслідок, напругу завади.

З цією метою накопичувальний дросель перетворювача потрібно виконати у вигляді двох обмоток з однаковою кількістю витків; обмотки мають бути охоплені сильним магнітним зв'язком (коефіцієнт магнітного зв'язку  $k_{зв} \rightarrow 1$ ) і увімкнені зустрічно, а між точкою з'єднання обмоток і корпусом перетворювача необхідно увімкнути конденсатор ємністю  $C$ .

**Метою роботи є** визначення залежності необхідної ємності конденсатора для компенсації завад від магнітного зв'язку між обмотками накопичувального дроселя у перетворювачі напруги.

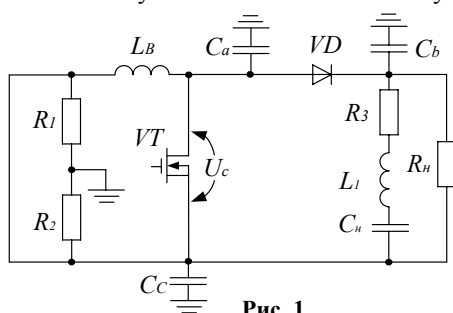


Рис. 1

перетворювача;  $C_n$  – конденсатор фільтра на виході перетворювача;  $L_g$  – накопичувальний дросель на вході перетворювача;  $L_l$  – індуктивність виводів конденсатора  $C_n$ ;  $R_3$  – опір височастотних втрат конденсатора  $C_n$ ;  $R_n$  – опір навантаги на виході перетворювача;  $U_c$  – напруга на вихідних контактах ключа  $VT$ ;  $VD$  – зворотній діод перетворювача.

Для досягнення цієї мети було проаналізовано еквівалентну схему транзисторного перетворювача як генератора електромагнітних завад для діапазону частот, на яких діють кондуктивні завади (рис. 1). Тут вхідне джерело напруги, еквівалент мережі і випрямляча на вході транзисторного перетворювача напруги показані як резистори  $R_1$  і  $R_2$  з номіналом  $R = 50$  Ом, з'єднані перемичкою [3].

На рис. 1 силовий ключ перетворювача ( $VT$ ) умовно показаний без кіл керування затвором і без захисного діода між стоком і витоком. На ньому прийняті позначення:  $C_a$  – паразитна ємність «силові кола перетворювача – корпус»;  $C_b$ ,  $C_c$  – паразитні ємності пере-

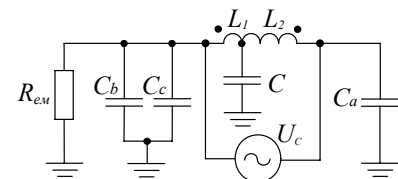


Рис. 2

На рис. 2 перетворювач напруги показаний як еквівалентний генератор меандра  $U_c$ , а традиційний накопичувальний дросель  $L_B$  перетворювача замінений згаданою вище схемою.

На рис. 2 прийнято позначення:  $R_{em}=25$  Ом – еквівалентний коефіцієнт зв'язку і вхідний опір вимірювача несиметричних завад;  $L_1$  і  $L_2$  – індуктивності неоднакових обмоток дроселя  $L_B$ . Якщо коефіцієнт зв'язку  $k_{зв} \rightarrow 1$  і  $C = (n-1)C_a$ , де  $n$  – відношення витків котушки індуктивності  $L_2$  до витків котушки індуктивності  $L_1$ , то відбувається повна компенсація паразитної ємності  $C_a$  і відсутній шлях для протікання струму несиметричної завади від джерела  $U_c$  через вхідний опір вимірювача завад. Це означає, що в такому випадку напруга несиметричної завади не буде діяти на вході перетворювача.

Недоліком описаного вище методу є те, що у ньому не враховано суттєву обставину – у накопичувальному дроселі з двома різко неоднаковими обмотками дуже важко одержати  $k_{зв} > 0,9$ . Тому важливо встановити вплив цього коефіцієнта на рівень завад на вході перетворювача з накопичувальним дроселем.

З цією метою нами була проаналізована еквівалентна схема перетворювача з накопичувальним дроселем, зображена на рис. 2, за допомогою методу контурних струмів [1] для випадку довільного коефіцієнта зв'язку між двома обмотками згаданого вище дроселя.

У результаті проведення не дуже складних, але громіздких викладок ми одержали, що напруга завади  $U_x$  на резисторі  $R_{em}$  (рис. 2) прямо пропорційна такому виразу:

$$U_x \equiv \frac{1-nk_{зв}}{n(n-k_{зв})} \left( \omega n^2 L - \frac{C+C_a}{\omega C C_a} \right) + \omega n k_{зв} - \frac{1}{\omega C}. \quad (1)$$

Тут  $\omega = 2\pi f$  – кругова частота,  $L = L_B/(n-1)^2$ ,  $L_B$  – задана індуктивність накопичувального дроселя.

Для дроселя, зображеного на рис. 2, можна прийняти  $nk_{зв} \gg 1$ , бо в роботі [3] зазначено, що  $n = 20 \dots 50$ , а  $k_{зв} = 0,7 \dots 1$ . Тоді вираз (1) можна значно спростити

$$U_x \sim \frac{1}{\omega C} \left[ \frac{k_{зв}}{n} \left( \frac{C}{C_a} + 1 \right) - 1 \right]. \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що для того, щоб  $U_x \rightarrow 0$ , потрібно, щоб  $\frac{k_{зв}}{n} \cdot \left( \frac{C}{C_a} + 1 \right) - 1 = 0$ , звідки одержимо

$$C = C_a (n/k_{зв} - 1). \quad (3)$$

Якщо у виразі (3) покласти  $k_{зв} = 1$ , то він переходить у вираз  $C = C_a (n - 1)$ , виведений у роботі [3] для  $k_{зв} = 1$ . Це підтверджує правильність виразу (3).

Для додаткової перевірки згаданого вище виразу ми змоделювали генерування завад еквівалентною схемою перетворювача, зображеною на рис. 2, за допомогою пакета програм електронного моделювання PSPICE. Моделювання було проведене для таких значень параметрів схеми та генератора завад: напруга  $U_c$  – меандр амплітудою  $U_m = 400$  В, тривалостями фронту/зрізу  $\tau = 50$  нс і періодом повторення  $T = 15$  мкс;  $C_a = 34$  пФ;  $C_b = C_c = 25$  пФ;  $L_B = 860$  мкГ;  $L = L_B/(n-1)^2$ ;  $n = 55$ ;  $L_1 = L$ ;  $L_2 = n^2 L$ ;  $C = C_a (n/k_{зв} - 1)$ ;  $k_{зв} = 0,9$ ;  $U_x$  – шукана напруга завади на резисторі  $R_{em}$ .

Результати моделювання показано на рис. 3 (суцільна лінія). Для порівняння на цьому самому рисунку пунктиром показана напруга завад, коли ємність  $C = C_a (n - 1)$ . Крім того, штрих-пунктирною лінією на тому самому графіку показана напруга завад при відсутності компенсації ємності  $C_a$ .

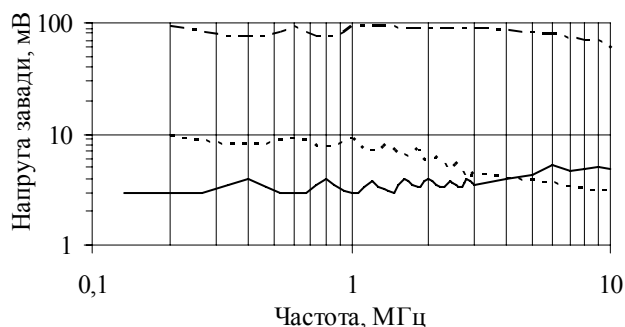


Рис. 3

З розгляду кривих на рис. 3 видно, що при відсутності компенсації паразитної ємності  $C_a$  напруга завад від перетворювача сягає майже 100 мВ у діапазоні частот від 0,15 до 10 МГц. Такий рівень завад у сто і більше разів перевищує гранично припустимий рівень, який регламентується вітчизняними і міжнародними стандартами з електромагнітної сумісності. З рис. 3 також видно, що введення компенсації значно зменшує рівень завад, генерованих згаданим вище перетворювачем, а розрахунок ємності компенсуючого конденсатора з врахуванням реально досяжного магнітного зв'язку  $k_{зв} < 1$  між обмотками накопичувального дроселя дозволяє ще у декілька разів зменшити напругу

завад на вхідних контактах перетворювача у порівнянні з використанням формули  $C = C_a (n - 1)$ , виведеної для ідеального випадку  $k_{зв} = 1$  [3].

**Висновки.** Визначена в роботі залежність необхідної ємності конденсатора для компенсації завад від магнітного зв'язку між обмотками накопичувального дроселя у перетворювачі напруги дозволила оптимізувати згадану ємність для реально досяжного магнітного зв'язку з точки зору зменшення кондуктивних завад на вході транзисторних перетворювачів напруги. Це, в свою чергу, дозволяє зменшити рівень досліджуваних завад до значень, які з необхідним запасом відповідають вимогам стандартів з електромагнітної сумісності без застосування електромережних протизавадних фільтрів.

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. – М.: Высш. школа, 1978. – 528 с.
2. Гурин В.К., Павловський В.О., Юрченко О.М. Метод зменшення несиметричних завад від перетворювача напруги з накопичувальним дроселем // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2015. – Вип. 41. – С. 117–120.
3. Shuo Wang, and Fred. C. Lee. Common-Mode Noise Reduction for Power Factor Correction Circuit with Parasitic Capacitance Cancellation // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – August 2007. – Vol. 49. – No 3. – Pp. 537–541.

УДК 621.391

## УМЕНЬШЕНИЕ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ НА ВХОДЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НАКОПИТЕЛЬНЫМ ДРОССЕЛЕМ

В.К. Гурин, В.А. Павловский, канд.техн.наук, О.Н. Юрченко, докт.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

*В докладе описан и проанализирован нетрадиционный метод эффективного уменьшения несимметричных кондуктивных помех от преобразователя напряжения с накопительным дроселем. Для этого с помощью накопительного дроселя специальной конструкции генерируется отрицательная ёмкость, которая компенсирует паразитную ёмкость «силовые цепи преобразователя – корпус». Это резко уменьшает ток несимметричной помехи преобразователя и, как следствие, напряжение помехи. В докладе показано зависимость необходимой ёмкости конденсатора для схемы компенсации помех от магнитной связи между обмотками накопительного дроселя. С помощью программы PSPICE была проверена эффективность упомянутого выше метода. Моделирование показало, что предложенный метод в десятки раз уменьшает интенсивность несимметричных радиопомех преобразователя в регламентированном диапазоне частот от 150 кГц до 30 МГц очень простыми схемотехническими и конструктивными средствами. Библ. 3, рис. 2.*

**Ключевые слова:** преобразователь напряжения, несимметричная радиопомеха.

## A COMMON-MODE NOISE DECREASING FOR BOOST CONVERTERS WITH POWER FACTOR CORRECTION CIRCUITS

V.K.Gurin, V.O.Pavlovskyi, O.M.Yurchenko

Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine,  
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

*In this paper, an effective method of common-mode (CM) noise decreasing for boost converters with power factor correction (PFC) circuit is described and analyzed. For this purpose they make an inductor of the PFC circuit to generate a negative capacitance, which will cancel a parasitic capacitance “converters’ power circuits-the ground”. It greatly lowers converter’s CM noise current and, as a consequence, the noise voltage. In the report, the dependence of compensating capacitor’s necessary capacitance on magnetic coupling between windings of the inductor is showed. Simulation with the aid of PSPICE showed that the investigated method effectively reduces the level of CM noise generated by a boost converter with PFC circuit, and it is very easy to implement. References 3, figures 2.*

**Key words:** power factor correction converter, common-mode noise.

1. Bessonov L.A. Theoretical Basics of Electrical Engineering: Electric circuits. – Moskva: Vysshiaia Shkola, 1978. – 528 p. (Rus)
2. Gurin V.K., Pavlovsky V.O., Yurchenko O.M. A Method of Common-Mode Noise Reducing for Boost Converters with Power Factor Correction Circuits // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2015. – Issue 41. – Pp. 117–120. (Ukr)
3. Shuo Wang, and Fred. C. Lee. Common-Mode Noise Reduction for Power Factor Correction Circuit with Parasitic Capacitance Cancellation // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – August 2007. – Vol. 49. – No 3. – Pp. 537–541.

Надійшла 03.02.2016  
Остаточний варіант 28.03.2016