

УДК 621.3.032

А. Лупенко, докт. техн. наук, доц., Л. Мовчан, канд. техн. наук, доц., Сисак І., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

КОМПАКТНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИХІДНОГО КАСКАДУ ЕЛЕКТРОННОГО ПУСКОРЕГУЛЮВАЛЬНОГО АПАРАТА У ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

A.Lupenko, L. Movchan, I. Sysak

COMPACT MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRONIC BALLASTS OUTPUT STAGE IN THE FREQUENCY DOMAIN

Часто на практиці для того, аби уникнути громіздких обчислень, користуються наближеним методом основної гармоніки, який має наглядність та зручність в використанні.

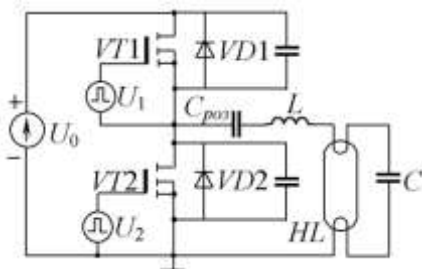


Рис. 1. Схема вихідного каскаду ЕПРА

зумовлені опором стік-витік транзисторів у відкритому стані, опором втрат котушки індуктивності, опором катодів люмінесцентної лампи (ЛЛ), опором втрат у конденсаторах.

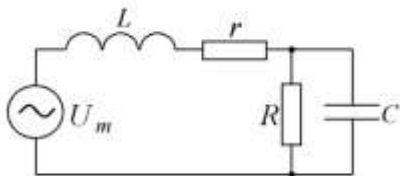


Рис. 2. Еквівалентна схема вихідного каскаду

Для того, щоб провести аналіз схеми (рис. 1) методом основної гармоніки й отримати компактну модель вихідного каскаду у частотній області, перейдемо до схеми заміщення, зображеної на рис. 2, взявши до уваги такі міркування: а) роздільна ємність C_p є досить великою, пульсації напруги на ній відсутні, опір на основній гармоніці близький до нуля; б) ємності стік-витік транзисторів є малими; в) добротність коливної системи інвертора є більшою за одиницю; г) кондуктивні втрати в коливній системі

На еквівалентній схемі рис. 2 позначено: R – опір ЛЛ у робочому режимі; r – опір, що враховує кондуктивні втрати коливальної системи; L і C – індуктивність та ємність коливальної системи; U_m – еквівалентний генератор, що живить контур.

Комплексний вхідний опір коливальної системи (рис. 2)

$$\underline{Z} = \frac{(r + R - \omega^2 LRC) + j(Rr\omega C + \omega L)}{1 + j\omega RC}, \quad (1)$$

де ω – робоча частота, яка є незмінною в процесі регулювання.

Модуль вхідного опору коливальної системи (1)

$$Z = \sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2} / \sqrt{1 + (\omega RC)^2}. \quad (2)$$

Запишемо вираз для амплітудного значення напруги джерела живлення:

$$U_m = \frac{2U_0}{\pi} \sin(\pi D). \quad (3)$$

Амплітудне значення струму котушки індуктивності з урахуванням (2) і (3)

$$I_{mL} = \frac{2U_0}{\pi} \sin(\pi D) \frac{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}{\sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2}}. \quad (4)$$

Комплексний опір паралельного з'єднання опору R і ємності C

$$\underline{Z}_2 = \frac{R}{1 + j\omega RC} \quad (5)$$

Модуль (5)

$$|Z_2| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (6)$$

Амплітудне значення напруги на лампі з урахуванням (4) і (6)

$$U_m = \frac{\sqrt{2}U_0 R}{\pi} \frac{\sin(\pi D)}{\sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2}} \quad (7)$$

Діюче значення (7)

$$U_\delta = \frac{\sqrt{2}U_0 R}{\pi} \frac{\sin(\pi D)}{\sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2}} \quad (8)$$

Враховуючи $P = U^2 / R(P)$,

$$\sin(\pi D) = \frac{P\pi \sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2}}{\sqrt{2}U_0 U_\delta} \quad (9)$$

Звідси

$$D(P) = \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{P\pi}{\sqrt{2}U_0 U_\delta} \sqrt{(r + R - \omega^2 LRC)^2 + (Rr\omega C + \omega L)^2} \quad (10)$$

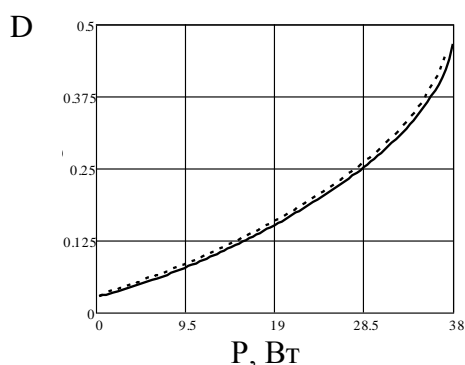


Рис. 3. Зв'язок потужності лампи з коефіцієнтом заповнення імпульсів для різних моделей

На рис. 3 представлено зв'язок потужності лампи з коефіцієнтом заповнення імпульсів, отриманий за допомогою моделі в часовій області [1] та компактної моделі (10). Для отримання цих залежностей було проведено моделювання в математичному пакеті MathCAD 15.

З наведених залежностей (рис. 3) можна зробити висновок, що при зменшенні коефіцієнта заповнення імпульсів амплітуди вищих гармонічних складових не будуть “підтягуватися” до амплітуди першої гармоніки. Це можна обґрунтувати на основі формули для добротності коливального контуру, паралельно навантаженого лампою (11):

$$Q = \frac{R}{Z_0} \quad (11)$$

Тобто, при зменшенні коефіцієнта заповнення імпульсів буде зростати опір лампи, що, в свою чергу, призведе до зростання добротності коливального контуру (11).

1. Лупенко А. Математична модель вихідного каскаду електронного пускорегулювального апарата в коливальному режимі / А. Лупенко, Л. Мовчан, В. Натяга, І. Сисак // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2010. – Т. 15, № 2. – С. 135–145.