

Дослідження форми напруг і струмів вихідного каскаду електронного баласту люмінесцентної лампи

*Лупенко А.М., к.т.н., доц., Мовчан Л.Т., к.т.н., Сисак І.М., асп.
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя,
46000, м. Тернопіль, вул. Руська 56, (0352) 52-44-40, kaf_et@tu.edu.te.ua*

В роботі розглянуто пікові та діючі значення струмів і напруг, значення коефіцієнту амплітуди струму люмінесцентної лампи та значення коефіцієнту гармонік при високочастотному живленні лампи електронним пускорегулювальним апаратом. Показано вплив коефіцієнту заповнення імпульсів на форму напруг і струмів вихідного каскаду. Отримані залежності є основою для розрахунку параметрів та показників вихідного каскаду електронного пускорегулювального апарату.

Створенню математичної моделі вихідного каскаду ЕПРА в коливальному режимі, яка дозволяє суттєво розширити якість аналізу та підвищити його точність присвячено роботу [1]. Модель базується на операторному методі розрахунку електричних кіл, тобто точнішому ніж метод основної гармоніки. В ній проаналізовано вихідний каскад, в якому навантаження (люмінесцентна лампа (ЛЛ)) під'єднано паралельно до конденсатора послідовного коливального контуру. В інверторі використано асиметричне керування ключами, яке забезпечує широкий діапазон регулювання потужності ЛЛ та комутацію транзисторів при нульовій напрузі. Також запропоновано методику розрахунку каскаду та одержано вирази для напруг і струмів в елементах коливального контуру та навантаженні.

Модель [1] дає можливість врахувати “тонші” ефекти, які мають місце в реальних схемах ЕПРА. Так, при малому значенні коефіцієнта заповнення відбувається “підтягування” амплітуд вищих гармонічних складових до рівня амплітуди першої гармоніки, на основі чого можна визначити такий показник коливальної системи електронного баласту ЛЛ як коефіцієнт гармонік. Крім того, необхідно знати пікові значення напруг і струмів в елементах коливальної системи вихідного каскаду ЕПРА, їх залежності від коефіцієнта заповнення для раціонального вибору елементної бази вихідного каскаду. Ще одним явищем, яке проявляється при регулюванні коефіцієнту заповнення імпульсів є зміна форми напруг і струмів коливального контуру та навантаження.

Однак в роботі [1] ці питання не розглянуті. Тому є актуальною задача врахування цих “тонших” ефектів реальних схем ЕПРА.

Метою роботи є визначення пікових та діючих значень струмів і напруг та можливого критичного значення коефіцієнту амплітуди струму лампи, визначення амплітуд вищих гармонічних складових та на основі цих даних коефіцієнту гармонік і побудова часових залежностей для елементів вихідного каскаду для різних значень коефіцієнту заповнення імпульсів.

Вираз для струму лампи протягом дії додатного імпульсу [1]:

$$i_{\infty}^{+}(t) = \frac{(1-D)U_0}{R} - \frac{1}{RLC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{k_{12}^2 + d_{12}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan(\frac{d_{12}}{k_{12}}) - \arctan(\frac{B_0}{A_0})), \quad (1)$$

а протягом дії від'ємного імпульсу:

$$i_{\infty}^{-}(t) = -\frac{DU_0}{R} - \frac{1}{RLC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{k_{14}^2 + d_{14}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan(\frac{d_{14}}{k_{14}}) - \arctan(\frac{B_0}{A_0})), \quad (2)$$

Мінімальне значення для струму лампи буде мати місце для додатного імпульсу при:

$$t' = \frac{\arctan(-\frac{\alpha}{\omega_{\text{вн}}}) - \arctan(\frac{d_{12}}{k_{12}}) + \arctan(\frac{B_0}{A_0})}{\omega_{\text{вн}}}, \quad (3)$$

а максимальне для від'ємного імпульсу:

$$t' = \frac{\arctan(-\frac{\alpha}{\omega_{\text{вн}}}) - \arctan(\frac{d_{14}}{k_{14}}) + \arctan(\frac{B_0}{A_0})}{\omega_{\text{вн}}}, \quad (4)$$

Діюче значення струму лампи можна записати у вигляді:

$$I_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} i_{\infty}^{+}(t)^2 dt + \int_{DT}^T i_{\infty}^{-}(t)^2 dt \right)} \quad (5)$$

Коефіцієнт амплітуди струму – це відношення пікового значення струму лампи до його діючого значення:

$$K_a = \frac{I_m}{I_{\text{д}}}, \quad (6)$$

Змінюючи D від 0 до 0,5, отримано графічну залежність коефіцієнта амплітуди струму K_a від коефіцієнта заповнення імпульсів D .

Коефіцієнт гармонік струму ЛЛ визначається по наступній формулі:

$$K_g = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_{\text{д}i}^2}}{I_{\text{д}1}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де $I_{\text{д}i}$ - діюче значення струму відповідної гармонічної складової.

Змінюючи D від 0 до 0,5, отримано графічну залежність коефіцієнта гармонік струму K_g від коефіцієнта заповнення імпульсів D .

Для відображення впливу коефіцієнту заповнення імпульсів на зміну форми напруг і струмів вихідного каскаду було вибрано два значення: максимально можливе $D = 0,5$ та $D = 0,1$, при якому лампа ще не погасає, що встановлено шляхом експерименту. Для представлення отриманих результатів було проведено обчислювальний експеримент за допомогою математичної системи MathCAD 15 та виконано моделювання вихідного каскаду ЕПРА за допомогою системи схемотехнічного моделювання Micro-Cap 9 на типовому вихідному

каскаді з параметрами: $C = 9,8$ нФ, $L = 2,1$ мГн, $R = 280$ Ом, робоча частота $f = 38$ кГц, напруга живлення каскаду $U_0 = 415$ В [1].

Результати математичного моделювання добре узгоджуються з результатами, отриманими за допомогою схемотехнічного моделювання. Отримані залежності є основою для розрахунку параметрів та показників вихідного каскаду електронного пускорегулювального апарату та раціонального вибору елементів його схеми.

Список літератури:

1. А.Лупенко. Математична модель вихідного каскаду електронного пускорегулювального апарату в коливальному режимі / А.Лупенко, Л.Мовчан, В.Натяга, І.Сисак // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2010. – том 15 №2. – с. 135-145.