

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИХІДНОГО КАСКАДУ ЕЛЕКТРОННОГО ПУСКОРЕГУЛЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ В КОЛИВАЛЬНОМУ РЕЖИМІ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ

Проаналізовано вихідний каскад високочастотного електронного пускорегулювального апарату для розрядних ламп, який виконано за схемою резонансного напівмостового інвертора. Розроблено математичну модель каскаду у вигляді залежностей напруг і струмів в коливальному режимі роботи з урахуванням втрат.

Ключові слова: електронний пускорегулювальний апарат, математична модель, вихідний каскад, коливальний режим, втрати.

**A. Lupenko, L. Movchan, I. Sysak**

## A MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRONIC BALLAST OUTPUT STAGE IN OSCILLATION MODE WITH LOSSES

The high-frequency electronic ballast output stage as a resonance half-bridge class-D converter is analyzed. A stage mathematical model as dependence of voltages and currents in underdamped mode with losses has been derived.

Key words: electronic ballast, mathematical model, output stage, underdamped mode, losses.

В роботі [1] за допомогою операторного методу Лапласа проаналізовано вихідний каскад ЕПРА при його роботі в коливальному режимі, що дало можливість розглянути “тонші” ефекти, які мають місце в реальних схемах, в порівнянні з методом основної гармоніки. На основі даного аналізу можна встановити такий важливий параметр ЕПРА як коефіцієнт амплітуди струму РЛ, від якого залежить термін служби лампи, а також пікові значення напруг і струмів в компонентах вихідного каскаду.

Проте, аналіз в [1] було проведено без врахування втрат, оскільки, елементи коливальної системи вважалися ідеальними, а кондуктивні (втрати в активних опорах компонентів інвертора) та комутаційні (втрати в транзисторах в динамічному режимі) втрати прирівнювалися до нуля. Ці міркування вносять певну похибку в результат моделювання.

Тому, актуальною є задача створення математичної моделі вихідного каскаду ЕПРА, яка б доповнювала математичну модель для коливального режиму роботи за рахунок урахування втрат.

Метою роботи є розробка математичної моделі вихідного каскаду ЕПРА в коливальному режимі з урахуванням втрат, що дозволить підвищити точність аналізу схеми. Дана модель буде вдосконалювати розроблену модель каскаду в коливальному режимі [1].

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

$$i_{\infty}^{+}(t) = \frac{(1-D)U_0}{R+r_k+r_e} - \frac{1}{(R+r_k)LC\omega_{\text{ел}}} \frac{\sqrt{A_{12}^2+B_{12}^2}}{\sqrt{A_0^2+B_0^2}} e^{-\alpha t} \cos\left(\omega_{\text{ел}}t + \arctg\left(\frac{B_{12}}{A_{12}}\right) - \arctg\left(\frac{B_0}{A_0}\right)\right), \quad (1)$$

де  $D$  - коефіцієнт заповнення імпульсів;

$U_0$  - постійна напруга живлення вихідного каскаду;

$R$  - навантаження (ЛЛ);

$r_e$  - еквівалентний опір;

$r_k$  - опір катода РЛ;

$L$  і  $C$  - елементи коливального контуру;

$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  - резонансна частота;

$\xi = \sqrt{L/C}/2R$  - параметр згасання;

$\omega_{\text{вл}} = \omega_0 \sqrt{1-\xi^2}$  - частота вільних згасаючих коливань;

$\alpha = \xi\omega_0$  - коефіцієнт згасання;

$A_0 = \omega_{\text{вл}} (1 - e^{-\alpha T} \cos(\omega_{\text{вл}} T)) + \alpha e^{-\alpha T} \sin(\omega_{\text{вл}} T)$ ;

$B_0 = -\omega_{\text{вл}} e^{-\alpha T} \sin(\omega_{\text{вл}} T) + \alpha (1 - e^{-\alpha T} \cos(\omega_{\text{вл}} T))$ ;

$k_{12} = U_0 [1 - e^{-\alpha(1-D)T} \cos[\omega_{\text{вл}}(1-D)T]]$ ;

$d_{12} = U_0 e^{-\alpha(1-D)T} \sin[-\omega_{\text{вл}}(1-D)T]$ ;

$A_{12} = [1 - (R + r_k)C\alpha]k_{12} - (R + r_k)C\omega_{\text{вл}}d_{12}$ ;

$B_{12} = (R + r_k)C\omega_{\text{вл}}k_{12} + [1 - (R + r_k)C\alpha]d_{12}$ ,

а протягом дії від'ємного імпульсу:

$$i_{\infty}^{-}(t) = -\frac{DU_0}{R + r_k + r_e} - \frac{1}{(R + r_k)LC\omega_{\text{вл}}} \frac{\sqrt{A_{14}^2 + B_{14}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t} \cos\left(\omega_{\text{вл}}t + \arctg\left(\frac{B_{14}}{A_{14}}\right) - \arctg\left(\frac{B_0}{A_0}\right)\right), \quad (2)$$

де  $k_{14} = U_0 (1 - e^{-\alpha DT} \cos(\omega_{\text{вл}} DT))$ ,

$d_{14} = U_0 e^{-\alpha DT} \sin(\omega_{\text{вл}} DT)$ ,

$A_{14} = [1 - (R + r_k)C\alpha]k_{14} - \omega_{\text{вл}}(R + r_k)Cd_{14}$ ,

$B_{14} = \omega_{\text{вл}}(R + r_k)Ck_{14} + [1 - (R + r_k)C\alpha]d_{14}$ .

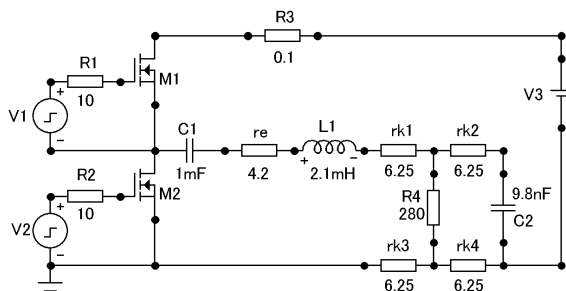


Рис. 1 – Схема моделювання вихідного каскаду ЕПРА

опір РЛ  $R = 280$  Ом, еквівалентний опір (втрати на котушці індуктивності, кондуктивні та комутаційні втрати)  $r_e = 4,2$  Ом, опір катода РЛ  $r_k = 12,5$  Ом.

Запропонована математична модель з урахуванням втрат добре узгоджується з результатами, отриманими за допомогою системи схмотехнічного моделювання Мікро-Сар 9 і математичною моделлю в коливальному режимі роботи.

#### 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.

З метою верифікації отриманих результатів проведено обчислювальний експеримент за допомогою математичної системи Mathcad 15, виконано моделювання вихідного каскаду ЕПРА за допомогою системи схмотехнічного моделювання Мікро-Сар 9 на вихідному каскаді (рис. 1) з параметрами:  $C = 9,8$  нФ,  $L = 2,1$  мГн, робоча частота  $f = 38$  кГц, напруга живлення каскаду  $U_0 = 415$  В,