

ОСОБЛИВОСТІ УРАХУВАННЯ ПИТАНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

к.т.н. Г.І. Лагутін , О.В. Касьянов , О.М. Малиш
(подав д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

У статті подаються аналітичні співвідношення для проведення розрахунку рівня електромагнітних перешкод при проектуванні систем електропостачання.

При проектуванні систем електропостачання для живлення систем обробки інформації необхідно приділяти увагу питанням електромагнітної сумісності проектуємих пристроїв із радіоелектронною апаратурою різного призначення. Можливий підхід, коли рівень електромагнітних перешкод електротехнічного засобу визначається не експериментальним, а розрахунковим шляхом.

При цьому математичною моделлю джерела електромагнітних перешкод є система лінійних диференціальних рівнянь високого порядку, яка відповідає схемній моделі у вигляді високочастотних лінійних схем заміщення.

При побудові еквівалентних схем джерел електромагнітних перешкод можна прийняти енергетичний або спектральний підхід.

Енергетичний підхід припускає, що перехідні процеси в джерелі електромагнітних перешкод, зумовлені перерозподілом енергії між реактивними компонентами внаслідок комутації джерел енергії. При цьому елементи - накопичувачі енергії подаються генераторами напруги з внутрішніми опорами $Z(j\omega)$.

При спектральному підході комутуючі джерела енергії подаються джерелами напруги при замиканні ключа та джерелами струму при його розмиканні та характеризуються відповідно спектральними щільностями напруги $S_u(j\omega)$ та струму $S_i(j\omega)$.

Еквівалентна схема для аналізу імпульсного вторинного джерела електроживлення (ІДЕ) при енергетичному підході показана на рис. 1. На рисунку прийняті такі позначення:

R_{EM}, L_{EM} – еквівалентні опори та індуктивність мережі;

C_1, C_2 – ємність виводів вхідного конденсатора та конденсатора згладжуючого фільтра ІДЕ;

L_{C1}, L_{C2} – індуктивність виводів вхідного конденсатора та конденсатора згладжуючого фільтра ІДЕ;

$I_{VT}(t), U_{VD}(t)$ – еквівалентні генератори струму та напруги, якими моделюються відповідно транзистор VT та діод VD ;

L – індуктивність;

C_L – міжвиткова ємність дроселя згладжуючого фільтра;

$C_{кVT}$ і $C_{кVD}$ – паразитні ємності між корпусом ІДЕ та корпусами VT та VD відповідно;

C_M – паразитна ємність монтажу.

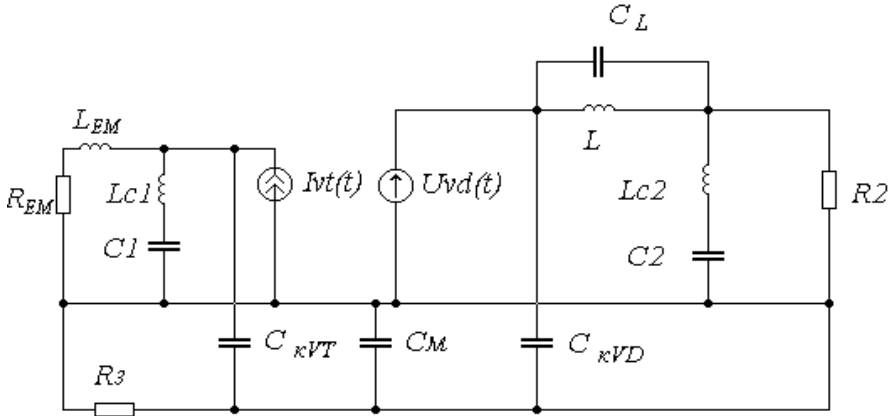


Рис. 1. Еквівалентна схема для аналізу імпульсного вторинного джерела електроживлення

При лінійній апроксимації імпульсів струму в ключових елементах отримані вирази, що дозволяють розрахувати амплітуди гармонійних складових імпульсів струму силового I_{VTn} транзистора та рекупераційного I_{VDn} діода в діапазоні частот до 1 МГц:

$$I_{VTn} = \frac{1}{n\pi} \sqrt{I_1^2 + I_2^2}, \quad (1)$$

$$\text{де } I_1 = I_{L\max} \sin 2n\pi\gamma - \frac{I_{L\max} - I_{L\min}}{2n\pi\gamma} \sin 2n\pi\gamma;$$

$$I_2 = I_{L\min} - I_{L\max} \cos 2n\pi\gamma + \frac{I_{L\max} - I_{L\min}}{2n\pi\gamma} \sin 2n\pi\gamma;$$

$$I_{VDn} = \frac{1}{n\pi} \sqrt{I_3^2 + I_4^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } I_3 = I_{L\min} \sin 2n\pi(1-\gamma) + \frac{I_{L\max} - I_{L\min}}{2n\pi(1-\gamma)} \sin 2n\pi\gamma(1 - \cos 2n\pi(1-\gamma));$$

$$I_4 = I_{L\max} - I_{L\min} \cos 2n\pi(1-\gamma) - \frac{I_{L\max} - I_{L\min}}{2n\pi(1-\gamma)} \sin 2n\pi(1-\gamma);$$

n - номер гармоніки;

$I_{L\min}, I_{L\max}$ - мінімальне та максимальне значення струму дроселя;

γ - коефіцієнт заповнення.

Еквівалентна схема двохтактного перетворювача, як джерела електромагнітних перешкод для розрахунку рівнів перешкод у навантажувальних колах у відповідності зі спектральним підходом зображена на рис.2.

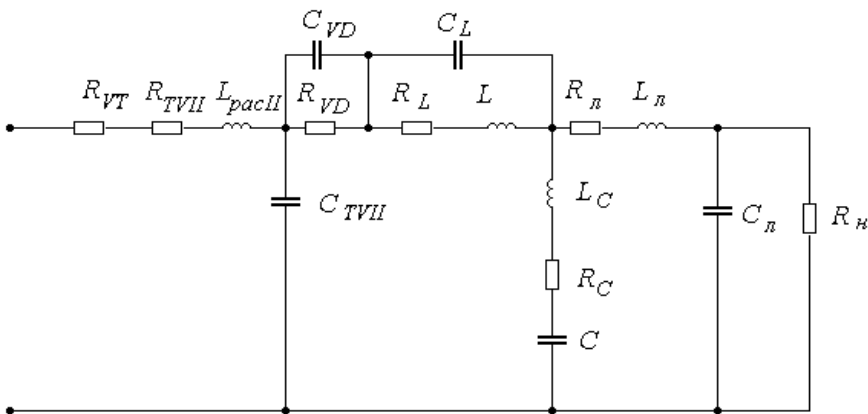


Рис.2. Еквівалентна схема двохтактного перетворювача

На рисунку прийняті такі позначення:

R_{VT} – опір втрат у силовому трансформаторі;

$R_{TVII}, L_{pacII}, C_{TVII}$ – опір, індуктивність розсіювання та міжвиткова ємність обмотки трансформатора;

R_{VD}, C_{VD} – опір та паразитна ємність випрямного діода;

C, R_C, L_C – ємність, опір та індуктивність виводів конденсаторів фільтра;

L, R_L, C_L – індуктивність, опір та паразитна ємність дроселя фільтра;

$R_л, L_л, C_л$ – параметри лінії, що з'єднує перетворювач із споживачем $R_н$.

Рівні гармонійних складових навантажувального струму $I_{нн}$ можуть бути розраховані за спектром напруги силового транзистора перетворювача та вхідним опором еквівалентної схеми

$$I_{\text{нп}} = \frac{U_{\text{н}}}{Z_{\text{вхн}}} = \frac{U_{\text{н}}}{\left| \frac{(Z_{\text{л}} + Z_{\text{н}})Z_{\text{с}}}{Z_{\text{л}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{с}}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{вД}} + Z_{\text{тп}} \right|}. \quad (3)$$

За спектральним складом навантажувального струму за допомогою інтерполяційного кубічного сплайну може бути розрахована огинаюча спектра, площа під нею (що має зміст напруженості магнітного поля електромагнітних перешкод) та виведений вираз математичної моделі імпульсного стабілізованого перетворювача напруги як джерела електромагнітних перешкод

$$U = 20 \lg \frac{\sqrt{\pi \mu_a \sigma d H z_{\text{н}\Delta f}}}{2U_{\text{нор}} \sqrt{f_{\text{max}}}}, \quad (4)$$

де μ_a та σ – абсолютна магнітна проникність та питома провідність матеріалу проводу, що з'єднує перетворювач із споживачем;

d – діаметр проводу;

H – напруженість магнітної складової поля перешкод, що переважає в ближній зоні;

$Z_{\text{н}\Delta f}$ – модуль комплексного опору споживача в розглянутому діапазоні частот;

$U_{\text{нор}}$ – рівень перешкод, прийнятих за 0 дБ;

f_{max} – гранична частота розглянутого діапазону.

Отримані аналітичні співвідношення для розрахунку електромагнітних перешкод, формованих електротехнічними пристроями різного призначення, можуть дозволити підвищити ступінь автоматизації проектування систем електропостачання та їх елементів з урахуванням питань електромагнітної сумісності, а також зробити більш дешевим самий процес проектування на стадіях технічного проекту, робочого проекту, випробувань дослідного зразка та впровадження у виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Электроснабжение, ч.1. / Под ред. В.И. Шапошникова и Б.Т. Кононова. – МО СССР, 1987. – 220 с.
2. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. – К.: Вища школа, 1983. – 328 с.
3. Векслер Г.С. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания радиоэлектронных средств. – К.: Наук. думка, 1986. – 196 с.

Подана до редколегії 19.03.2001