

Електричний розрахунок друкованої плати

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів та зі збільшенням щільності їх розташування між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв'язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам протікають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. Останні при певних умовах викликають помилкове спрацювання дискретних елементів. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищували допустимої межі.

Вплив ємності та індуктивності сигнального зв'язку виражається в затримці вмикання схем. Час затримки визначається струмом, опором навантаження та опором сигнального провідника.

1. Визначимо падіння напруги на самому довгому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}},$$

де: ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

$$\rho = 0.0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$$

$l_{\text{пр}}$ - максимальна довжин друкованого провідника, м

$t_{\text{пр}}$ - товщина провідника, мм

I_{max} - струм в провіднику, А

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0.0175 \cdot 83.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.08}{0.35 \cdot 0.097} = 3.455 \text{ мВ}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ($U_{\text{ж}} = 13 \text{ В}$)

2. Визначимо потужність втрат двосторонньої друкованої плати. Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma,$$

де: $f = 1$, тому що розрахунок ведеться на постійному струмі

$\text{tg}\sigma$ - тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати, $\text{tg}\sigma = 0.002$ для матеріалу FR4

C - ємність друкованої плати

$$C = \frac{0.009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h},$$

де: ε - діелектрична проникність, $\varepsilon = 4.5$ для FR4. Для СФ $\varepsilon = 5 \div 6$

S_m - площа металізації, мм²

h - товщина друкованої плати, мм

$$C = \frac{0.009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0.009 \cdot 4.5 \cdot 600}{1.5} = 16.2 \text{ нФ}$$

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma = 2 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot 16.2 \cdot 10^{-6} \cdot 13^2 \cdot 0.002 = 34.39 \text{ мкВт}$$

3. Визначимо **ємність між двома сусідніми провідниками**, що розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину:

$$C = 0.12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1},$$

де: S - відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}$ - ширина друкованого провідника, мм

$t_{\text{пр}}$ - товщина друкованого провідника, мм

$l_{\text{пр}}$ - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0.12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0.12 \cdot 4.5 \cdot 20 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0.8}{0.35 + 0.096} \right]^{-1} = 17.45 \text{ пФ}$$

4. **Взаємна індуктивність** двох паралельних друкованих провідників однакової довжини

$$M = 0.02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right),$$

де: $l_{\text{пр}}$ - довжина перекриття паралельних провідників, см

L_0 - відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, см

$$M = 0.02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) = 0.02 \left(2 \lg \frac{\sqrt{4 - 0.0156} + 2_{\text{пр}}}{0.125} - \sqrt{2^2 - 0.0156} + 0.125 \right) = 7.64$$

нГн

Отримані значення паразитної ємності ($C = 17.45 \text{ пФ}$) та взаємної індуктивності ($M = 7.64 \text{ нГн}$) дозволяють стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають.