

Zofia KRACH
Andrzej RUTA

OPRACOWANIE TOPOLOGII
HYBRYDOWEGO UKŁADU GRUBOWARSTWOWEGO

Streszczenie. Artykuł stanowi zbiór przepisów umożliwiających opracowanie topologii hybrydowego układu grubowarstwowego. Zawiera wzory wraz z interpretacją i wyjaśnieniem wyboru kryterium optymalizacji rozmieszczenia elementów układu.

WSTĘP

Wśród układów hybrydowych coraz większą rolę odgrywają układy z elementami biernymi wykonanymi technologią grubowarstwową, czyli sitodruku i wypalania.

Celem artykułu jest podanie informacji o opracowaniu topologii hybrydowego układu grubowarstwowego w oparciu o literaturę i własne doświadczenia uzyskane w trakcie realizowania dekodera SQ oraz wzmacniacza W CZ 10,7 MHz.

Realizacja ww. układów była tematem obozu naukowego studentów Fizyki w latach 1975 i 1976 w Krakowskich Zakładach Elektronicznych "Telpod" w Krakowie.

PROJEKTOWANIE UKŁADU HYBRYDOWEGO GRUBOWARSTWOWEGO

Opracowanie poprawnego projektu topologicznego polega na zaplanowaniu właściwego rozmieszczenia elementów układu. Należy więc ustalić kształty, wymiary i rodzaje połączeń elementów układu.

Czynnikami odgrywającymi tu decydującą rolę są: minimalna liczba skrzyżowań, optymalna ilość elementów na określonej powierzchni, minimalne odstępy między elementami, rozmieszczenie znormalizowanych kontaktów i poprawka na sprzężenia pasożytnicze w układach pracujących na dużych częstotliwościach.

1. OCENA WYMIARÓW PODŁOŻA UKŁADU HYBRYDOWEGO

Niezbędną do zrealizowania mikroelektronicznego układu grubowarstwowego wartość powierzchni można określić wzorem (1.1)

$$F = f \cdot F_c, \quad (1.1)$$

gdzie:

f - współczynnik wykorzystania powierzchni,

F_c - powierzchnia zajmowana przez rezystory, kontakty wyjściowe, elementy dyskretne układu.

Powierzchnię rezystora prostokątnego o wartości znamionowej R określa wzór (1.2)

$$F_R = w \cdot l = w^2 \frac{R}{R_D}, \quad (1.2)$$

gdzie:

w i l - szerokość i długość rezystora,

R_D - rezystancja na kwadrat.

Wybór szerokości rezystora zależy od mocy rozpraszanej, minimalnych wymiarów uzyskiwanych przy zastosowanej technologii.

Minimalna powierzchnia rezystora z uwagi na rozpraszaną moc wynosi:

$$F_{RP} = \frac{P}{P_k} \quad (1.3)$$

gdzie:

P - moc rozpraszana na rezystorze,

P_k - dopuszczalna moc rozpraszana na jednostkę powierzchni podłoża.

Minimalną szerokość rezystora, ze względu na rozpraszaną moc, można wyrazić wzorem (1.4) w oparciu o wzór (1.2) i (1.3).

$$w_P = \left(\frac{P}{P_k} \frac{R_D}{R} \right)^{1/2} \quad (1.4)$$

W układach, w których rezystory rozpraszają stosunkowo dużą moc słuzna jest zależność (1.5)

$$F_{cp} = \frac{1}{P_k} \sum_{1/1}^n P_i \quad (1.5)$$

gdzie:

F_{cp} - całkowita powierzchnia rezystorów,

P_i - moc rozpraszana na i -tym rezystorze,

n - liczba rezystorów.

Jeżeli część rezystorów realizowanego układu ma nominalną moc rozpraszaną stosunkowo małą, minimalna szerokość rezystorów jest zdeterminowana ograniczeniami technologicznymi. Całkowita powierzchnia niezbędna do realizacji rezystorów wynosi wtedy (1.6)

$$F_{CR} = \frac{1}{P_k} \sum_{1/1}^m P_1 + W_T^2 \sum_{1/1+m}^n h_1 \quad h_1 = \begin{matrix} \frac{R_1}{R_0} \\ \frac{R_1}{R_0} \end{matrix} \geq 1 \quad (1.6)$$

$$\frac{R_1}{R_0} \leq 1$$

gdzie:

m - liczba rezystorów o dużej mocy rozpraszanej,

W_T - minimalna szerokość rezystora zdeterminowana technologią.

2. OPTIMALNA LICZBA ELEMENTÓW NA PODŁOŻU

Przy ustalaniu optymalnej liczby elementów na zadanej powierzchni należy wziąć pod uwagę obliczenia teoretyczne i koszty produkcji. Wykonanie prostych i małych modułów funkcyjnych o dużym uzysku produkcyjnym pociąga konieczność dodatkowego montażu i kontroli parametrów modułu, co powiększa koszty produkcji. Realizacja dużego modułu jest związana ze zmniejszeniem prawdopodobieństwa uzyskania poprawnego modułu [3].

Optymalną liczbę rezystorów na płytce można określić wzorem (2.1)

$$N_{opt} = - \frac{1}{\ln p} \quad (2.1)$$

p - prawdopodobieństwo wyprodukowania dobrego rezystora.

Optymalną liczbę rezystorów przy różnych prawdopodobieństwach wykonania dobrego rezystora podaje (2.2)

$$\frac{n^{(1)}}{n^{(2)}} = \frac{\sum_{1/1}^k N_1^{(2)}}{\sum_{1/1}^k N_1^{(1)}} \cdot \prod_{1/1}^k p_1^{(N_1^{(2)} - N_1^{(1)})} \quad (2.2)$$

$n^{(j)}$ - liczba płytek (łącznie z niesprawnymi) konieczna do wykonania całego układu przy j -tym podziale na płytki podłożowe, k - liczba grup elementów o jednakowym prawdopodobieństwie dobrego wykonania elementu, $N_1^{(j)}$ - liczba elementów na podłożu z i -tej grupy przy j -tym podziale na płytki, p_i - prawdopodobieństwo dobrego wykonania elementu i -tej grupy.

Wzór (2.2) pozwala oszacować optymalną do wykonania danego układu liczbę płytek.

3. PROJEKTOWANIE ELEMENTÓW UKŁADU GRUBOWARSTWOWEGO

3.1. Minimalne wartości wymiarów elementów

Ekstremalne wymiary elementów są uwarunkowane stosowanymi materiałami, zdolnością rozdzielczą aparatury oraz parametrami układu. Na szerokość ścieżki i odstęp między ścieżkami wpływają parametry użytych sit, emulsji i sitodrukarki oraz własności reologiczne stosowanych past. Dla uniknięcia zwarcia lub przerw w ścieżkach zakłada się minimalną szerokość ścieżki $W_{1\min} = 500 \mu\text{m}$, minimalny odstęp między ścieżkami $W_2 = 750 \mu\text{m}$ [4].

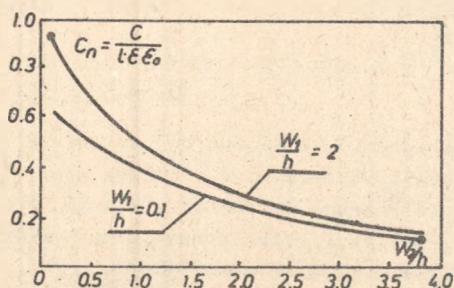
Minimalny odstęp rezystora od sąsiednich elementów narzucają odpowiednie parametry urządzenia do korekcji rezystorów. W zakresie dużych częstotliwości należy uwzględnić poprawkę do wyznaczonej poprzednio szerokości ścieżki, wynikającą z powstania dodatkowej indukcyjności i pojemności pasozytniczej. Indukcyjność wzajemna między dwiema ścieżkami o długości l i szerokości W_1 i odległości W_2 wyraża się wzorem (3.1) [1]

$$L_m = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[\ln \frac{2l}{W_1 + W_2} - 1 + \frac{W_1 + W_2}{l} - \frac{1}{4} \frac{(W_1 + W_2)^2}{l^2} + \frac{1}{12} \frac{1}{\left(1 + \frac{W_1}{W_2}\right)^2} \right] \quad (3.1)$$

Indukcyjność własna każdej ze ścieżek może być określona wzorem (3.2)

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[\ln \frac{2l}{W_1} + \frac{1}{2} + \frac{W_1}{3l} \right]. \quad (3.2)$$

Korzystając z transformacji Christoffela Schwarza można określić pojemność między dwiema ścieżkami równoległymi wyrażając ją za pomocą całek eliptycznych pierwszego rodzaju [1].



Rys. 1

W stosowanych powszechnie obliczeniach można skorzystać z wykresu 1, przedstawiającego zależność znormalizowanej pojemności $C_n = \frac{C}{\epsilon_0 \epsilon l}$ od stosunku odległości między ścieżkami od grubości podłoża.

Jak wynika z powyższych wzorów i wykresu 1, L_m i C wzrastają ze wzrostem długości ścieżek l ze zmniejszeniem szerokości i odległości między ścieżkami.

3.2. Projektowanie rezystorów

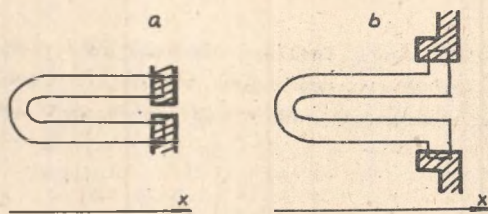
Niezawodność układu i koszty produkcji związane są z konstrukcyjnymi rozwiązaniami elementów. Definicje podstawowych pojęć stosowanych w technice grubowarstwowej, takich jak: rezystancja na kwadrat ϑ czy pojemność na jednostkę powierzchni przy określonej grubości warstwy można znaleźć w pracy [1].

Znajomość współczynnika kształtu k określającego liczbę kwadratów [1] oraz W_1 min pozwala na wyznaczenie długości rezystora l . Zastosowanie rezystora w kształcie litery U jest wskazane, gdy stosunek długości do szerokości rezystora jest duży i w trakcie korekcji rezystora prostokątnego może dojść do przewężeń powodujących zbyt duże zagęszczenie linii prądowych i w konsekwencji pogorszenie parametrów elektrycznych rezystora a

nawet uszkodzenie. Zaprojektowanie rezystora o współczynniku k zbyt małym prowadzi do braku stabilności rezystora w wyniku migracji atomów A_g z pasty konduktywnej. Przy ustalaniu kształtu rezystora niemałą rolę odgrywa usytuowanie kontaktów. Dla rezystora o kształcie określonym przez rys. 2a

błąd wykonania $\delta = \frac{24l}{1}$, co wynika z możliwości przesunięcia warstwy konduktywnej w kierunku drukowania

x . Błąd ten jest pomijalnie mały dla rezystora na rys. 2b.



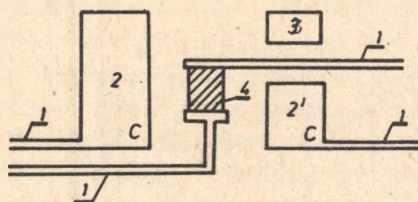
Rys. 2

4. ROZMIESZCZENIE ELEMENTÓW NA PODŁOŻU

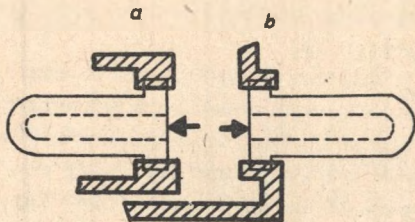
Po zastosowaniu informacji przekazanych w poprzednich rozdziałach należy tak rozmieścić poszczególne elementy, by liczba skrzyżowań ścieżek konduktywnych była jak najmniejsza. Każde skrzyżowanie wiąże się z koniecznością dodatkowego drukowania i wypalania warstwy izolacyjnej, co wpływa na tworzenie się dodatkowej pojemności pasożytniczej. Można też zastosować połączenia przewodowe, tzw. mostki, co również wpływa na skomplikowanie technologii i pogorszenie niezawodności układu.

Jeżeli w układzie hybrydowym występują kondensatory monolityczne, całkowitą powierzchnię można zmniejszyć umieszczając rezystor pod kondensatorem, a także "przechodząc" ścieżką konduktywną przez przecięte na dwie części pole kontaktowe kondensatora rys. 3, gdzie jedna część kontaktu pełni rolę połączenia elektrycznego i mechanicznego (2), a druga jest tylko miejscem przymocowania kondensatora (3). Rozmieszczając rezystory należy uważać, aby nie umieszczać rezystorów o dużej mocy zbyt blisko tranzystorów, gdyż może to pogarszać parametry tranzystora. Wzajemne usytu-

wanie rezystorów musi być takie, aby możliwe było przeprowadzanie korekcji w jednym lub dwu prostopadłych kierunkach. Rys. 4 ukazuje niewłaściwe usytuowanie względem siebie rezystorów.



Rys. 3



Rys. 4

Lutowie na kontaktach tranzystora tworzy menisk "ustawiający" tranzystor i dlatego wskazane jest, by ścieżki przewodzące, stanowiące połączenie kontaktu tranzystora z innymi elementami, nie miały szerokości większej od minimalnej.

LITERATURA

- [1] Guziński A.: Projektowanie i konstrukcja układów warstwowych. WKŁ Warszawa 1973, s. 70, 105-108, 96-100.
- [2] Bristol R.C.: Design guide to hybrid package size. Electronic Engineer, September 1969, s. 45-46.
- [3] Gargione F., Fenster H.: System partitioning for Hybrid circuits ISHM, Proceedings 1969, s. 281-288.
- [4] Hammer D.W., Biggers J.V.: Technologia układów scalonych grubowarstwowych. WNT, Warszawa 1976, s. 246.
- [5] Keonjan E.: Mikroelektronika. WNT, Warszawa 1967.

РАЗРАБОТКА ТОПОЛОГИИ КРУПНОСЛОИСТОЙ СИСТЕМЫ

Р е з ю м е

Эта статья это собрание правил дающих возможностей разработать топологию гибридной крупнослойной системы. Содержит формулы с интерпретацией и объяснением выбора критерий оптимализации распределения элементов системы

TOPOLOGICAL DESCRIPTION OF A THICK-LAYER SYSTEM

S u m m a r y

The article contains a set of rules which allow us to work out a hybrid thick-layer system. It contains the formulae and attempts at interpreting and accounting for the choice of the criterion of optimum system element distribution.