A spiral-bound notebook with a light-colored, textured cover and a silver metal spiral binding on the left side. The notebook is open to a page with a faint grid pattern. The text is centered on the page.

Тема: Топологическое проектирование ПП

Топология ПП включает:

- ❖ **Размещение ЭРИ на плате с определением контактных площадок**
- ❖ **Трассировку печатных проводников между контактными площадками**

Печатный рисунок разрабатывается по следующим условиям:

- Без пересечений в один слой (ОПП)**
- С пересечением в два слоя (ДПП)**
- То же, но с перемычками (ДППп)**
- С пересечением (МПП)**

Критерием наилучшего топологического решения является правило двух минимумов:

- **Минимум пересечений**
 - **Минимум длины проводников**
-

Первое условие подразумевает минимум переходных отверстий, что обеспечивает технологичность по минимуму числа слоев, *второе* - расположение на ПП рядом друг с другом элементов, имеющих максимум электрических связей в схеме.

Размещение элементов на плате регламентируется условной координатной сеткой из двух взаимно перпендикулярных систем параллельных линий, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Это расстояние – шаг координатной. Точки пересечений координатных линий образуют узел.

Две взаимно перпендикулярные линии координатной сетки с точкой пересечения в левом нижнем углу ПП используют как оси координат, а точку их пересечения - узел координатной сетки – как базу координат.

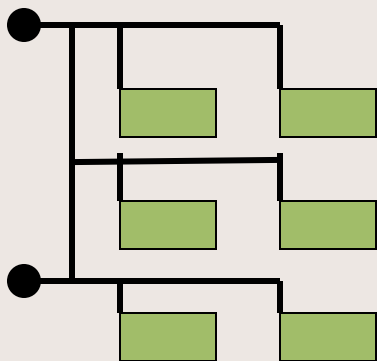
Центры монтажных отверстий и контактных площадок под выводы навесных элементов располагают в узлах координатной сетки.

Если шаг расположения выводов многовыводного элемента не совпадает с шагом координатной сетки, то в узел размещается первый вывод, а остальные располагаются в соответствии с конструкцией элемента (по возможности на линии координатной сетки).

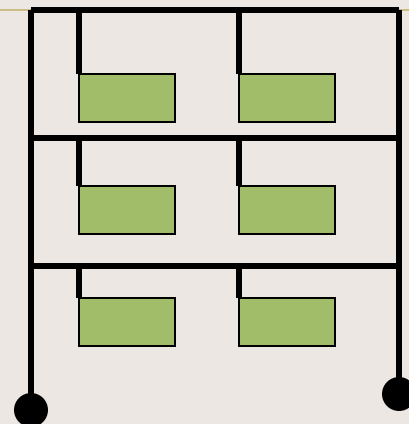
Основные правила топологического проектирования

- ✓ Печатные проводники располагают по линиям координатной сетки и или между ними. Допускается для уменьшения длины располагать проводники под углом к координатной сетке.
- ✓ Для снижения паразитных электрических связей проводниковые полосы на разных сторонах ДПП следует ориентировать перпендикулярно.
- ✓ Для заземления платы на корпус рекомендуется располагать заземляющий слой по ее краям.
- ✓ Шины питания и земли должны быть широкими для снижения собственной индуктивности и активного сопротивления. В МПП шины питания и земли желательно выполнять в виде проводящих плоскостей в соседних слоях.

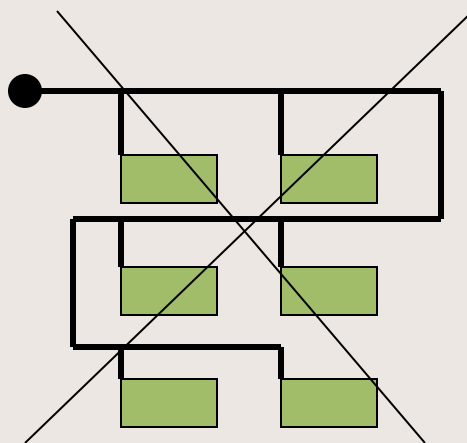
✓ Разводка питания микросхем на ПШ должна осуществляться не последовательно, а параллельно или в виде замкнутого контура.



Параллельная разводка



Разводка в виде замкнутого контура

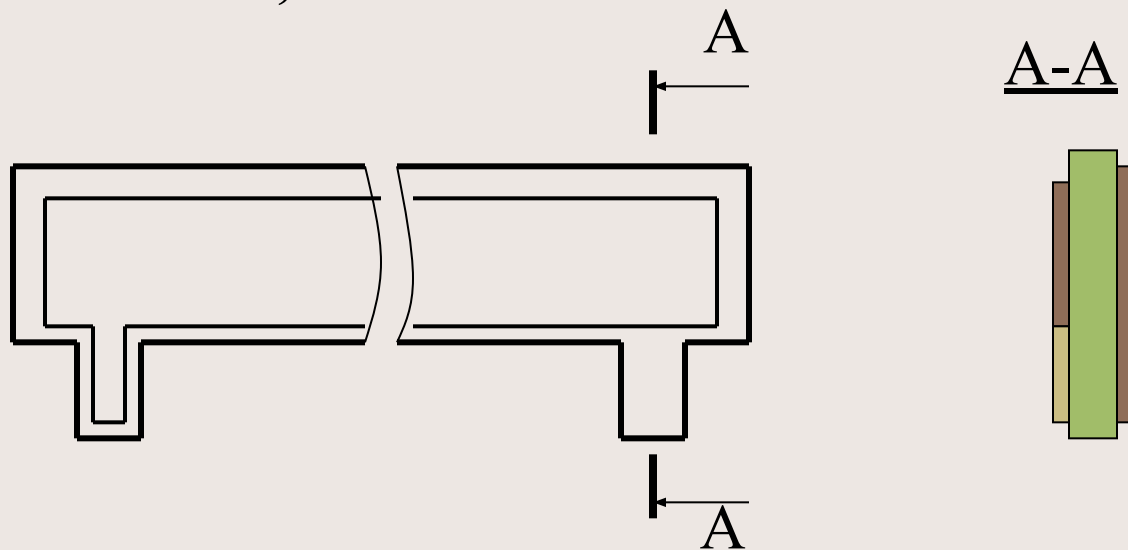


Последовательная разводка

Преимущества навесных печатных шины питания, применяемых в ФЯ на цифровых ИС:

- Большие поперечные размеры, а следовательно, и меньшие индуктивность и сопротивление.**
- Упрощение трассировки сигнальных цепей**
- Повышение жесткости ПП**

Высокой технологичностью отличаются навесные шины питания, выполненные печатным способом.



Компоновочная структура ПП

Существует специальный стандарт, в котором представлены основные типы сборок, разбитые на классы:

тип 1 — ЭРИ и/или ПМК установлены только на верхнюю сторону ПП (сторона А);

тип 2 — ЭРИ и/или ПМК установлены на обе стороны ПП (сторона А и В).

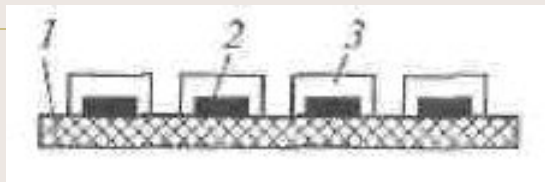
Класс А — ЭРИ монтируются в отверстия.

Класс В — монтируются ПМК.

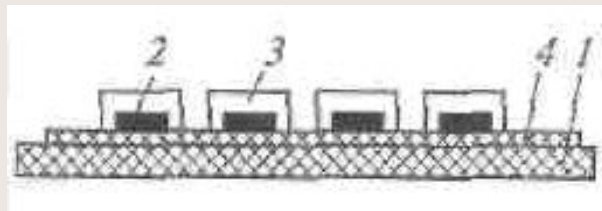
Класс С — смешанная сборка: монтируются ЭРИ в отверстия и ПМК.

Каждому типу сборок соответствует своя последовательность сборочно-монтажных операций.

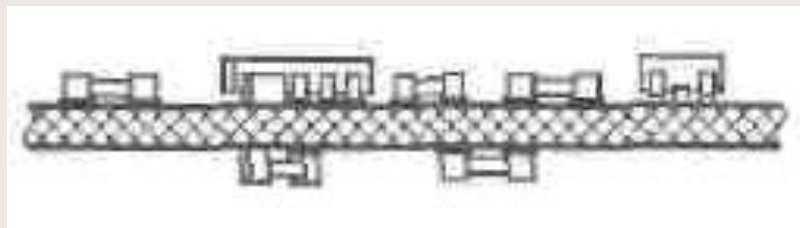
тип 1А — монтаж ЭРИ в отверстия. ЭРИ только на верхней А стороне ПП .



тип 1В — монтаж на поверхность. ПМК только на верхней А стороне ПП

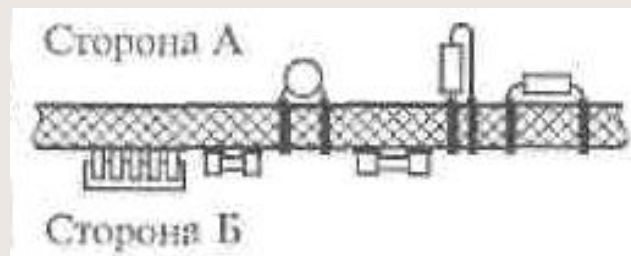


тип 2В — монтаж на поверхность. ПМК с обеих А и Б сторон ПП

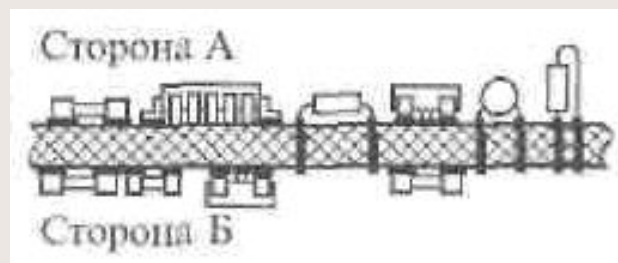


тип 1С — смешанный монтаж. ЭРИ в отверстия и ПМК только на верхней А стороне ПП

тип 2С — смешанный монтаж. ЭРИ в отверстия только на верхней А стороне ПП и ПМК только на нижней Б стороне ПП



тип 2С — смешанный монтаж. ЭРИ в отверстия на верхней А стороне и ПМК с обеих А и Б сторон ПП



Расчет площади ПП

При разработке конструкции ЭА и, соответственно, ПП возможны два варианта выбора типоразмера ПП:

- 1) путем ориентировочной оценки площади ПП (на ранней стадии разработки);
- 2) при помощи компоновки и расчета конструкторско-технологических зон на ПП для установки ЭРИ, электрических соединителей, элементов контроля, крепления и фиксации.

1 Ориентировочно площадь ПП на ранних стадиях проектирования можно определить по следующей формуле

$$S_{\text{м}} = 4S_{\text{мг}} + 3S_{\text{сг}} + 2S_{\text{к}}$$

где $S_{\text{мг}}$ - сумма установочных площадей малогабаритных ЭРИ (маломощные резисторы), мм^2 ;

$S_{\text{сг}}$ - сумма установочных площадей среднегабаритных ЭРИ (микросхемы), мм^2 ;

$S_{\text{кг}}$ - сумма установочных площадей крупногабаритных ЭРИ, мм^2 (трансформаторы, клеммники).

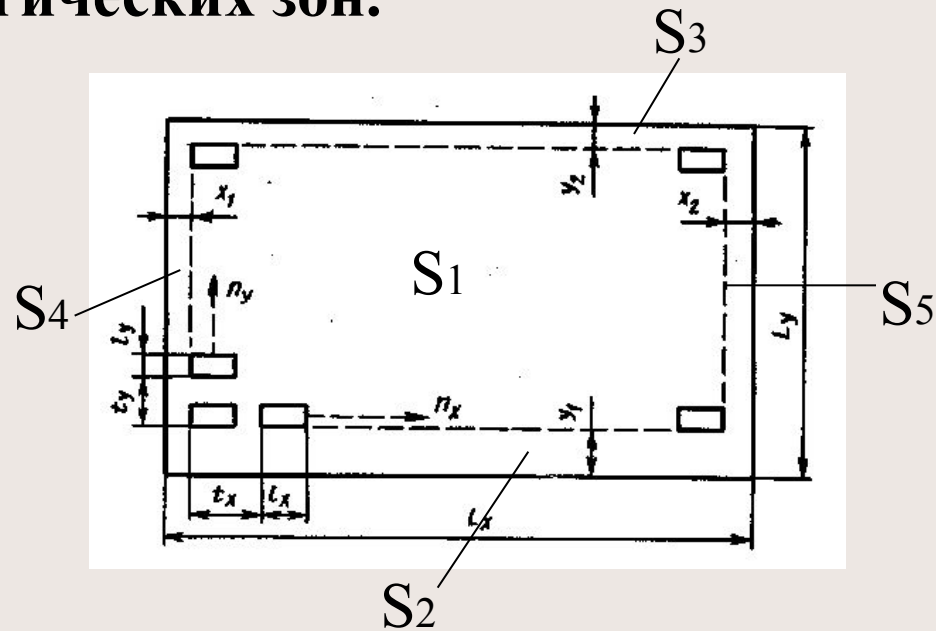
Установочную площадь ЭРИ определяют как площадь прямоугольника, размеры которого зависят от внешних предельных очертаний установочной проекции ЭРИ на поверхность ПП, включая отформованные выводы.

Установочная площадь ЭРЭ – это площадь, занимаемая на плате элементом вместе с контактными площадками. Например, для микросхемы во втором типе корпуса с расстоянием между рядами выводов 7,5 мм и длиной 19,5 мм установочная площадь будет $10*20=200$ мм².

По рассчитанной площади задаются размерами сторон ПП, прибавляя к каждой стороне конструкторско-технологическую зону.

Размеры сторон округляются в большую сторону до стандартных размеров.

**Второй способ определения размеров ПП в
раздельном определении конструкторско-
технологических зон.**



t_x, t_y — шаги установки ИМС на ПП по x и y ;

l_x, l_y — размеры корпуса ИМС;

x_1, x_2, y_1, y_2 - краевые поля;

n_x, n_y — количество ИМС, установленных по осям X и Y .

S₁ – зона размещения ЭРИ

S₂- зона размещения электрического соединителя

S₃- зона размещения элементов контроля

S₄ и S₅ – зоны для установки ячейки в блок

Зоны S₁, S₂, S₃, S₄ и S₅— зоны запрета трассировки проводников в САПР.

Под размерами краевого поля понимают расстояние от края ПП по осям X и Y до первого ряда выводов корпусов ИМС. (даются в справочниках в зависимости от типов корпусов ЭРИ)

Геометрические размеры ПП определяют по следующим формулам:

$$L_x = (n_x - 1)t_x + l_x + x_1 + x_2;$$

$$L_y = (n_y - 1)t_y + l_y + y_1 + y_2,$$

Определив L_x и L_y , выбирают типоразмер ПП

2 Расчет элементов печатного монтажа

Основными элементами печатного монтажа

являются:

- проводники,
- контактные площадки,
- монтажные и переходные отверстия.

Минимальные номинальные размеры этих элементов определяются классом точности ПШ.

Расчетные размеры этих элементов не должны превышать значений для соответствующего класса точности.

Диаметры отверстий

Номинальное значение диаметра монтажного отверстия d_m , мм, определяется по формуле

$$d_m = d_э + r + 2h_г,$$

где $d_э$ - максимальный диаметр вывода радиоэлемента, мм;

r - разность между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром ЭРЭ ($r=0,1...0,4$ мм);

$h_г$ - толщина гальванически наращенной меди ($h_г=0,05...0,06$ мм), учитывается при двухсторонней ПШ.

Минимальный диаметр переходного отверстия d_{Π} , мм,
равен

$$d_{\Pi} = k * h_{\text{пл}},$$

где k – отношение диаметра отверстия к толщине
платы;

$h_{\text{пл}}$ - толщина печатной платы, мм.

Минимальный диаметр контактной площадки с
металлизированным отверстием $d_{\text{кп}}$, мм,
рассчитывают по формуле

$$d_{\text{кп}} = d_{\text{м}} + 2b_{\text{к}} + c,$$

где $b_{\text{к}}$ – ширина пояска контактной площадки, мм;
 c - технологический допуск, $c=0,05...0,1$ мм.

Рассчитанные значения диаметров монтажных отверстий округляются в большую сторону до предпочтительных размеров 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм, переходных отверстий - до размеров 0,7; 0,9; 1,1 мм. Для повышения технологичности на печатной плате должно быть ограниченное число типоразмеров отверстий.

Ширину печатных проводников в узких местах, то есть между выводами ЭРЭ с шагом 2,5 мм, следует назначать не меньше допустимого значения для соответствующего класса точности ПП. В свободных местах ширина проводников назначается 0,3...1,0 мм. Для снижения индуктивности и активного сопротивления ширина шин питания и земли должна быть как можно больше.

Расчет по постоянному току

Результаты трассировки и расчета элементов печатного монтажа необходимо проверить по постоянному току. Согласно закону Ома падение напряжения , В, на печатном проводнике равно

$$U_n = \rho * I * l / h_{\phi} b$$

ρ - удельное сопротивление проводника, Ом*мм² /м;

I - ток, протекающий в проводнике, А;

l - длина проводника, м;

h_{ϕ} - толщина меди, мм;

b - ширина проводника, мм.

Падение напряжения на сигнальных проводниках цифровых РЭА не должно превышать уровня статической помехоустойчивости $U_{пу}$ интегральных микросхем, на проводниках (шинах) питания и земли - не более 1...2% от номинального напряжения питания.

Если не выполняются эти условия, то необходимо увеличить площадь поперечного сечения печатных проводников или изменить топологию печатного рисунка.

Плотность тока в печатном проводнике j , А/мм², определяется по формуле

$$j=I/S,$$

где I - ток в проводнике, А;

S – площадь сечения проводника, мм².

Согласно ГОСТ 23751 (требования к электрическим параметрам ПП) плотность тока в печатном

проводнике наружного слоя не должна превышать:

- 20 А/мм² для ОПП , ДПП и наружных слоев МПП,

- 15 А/мм² для внутренних слоев МПП

В противном случае надо увеличить ширину и/или толщину проводника.

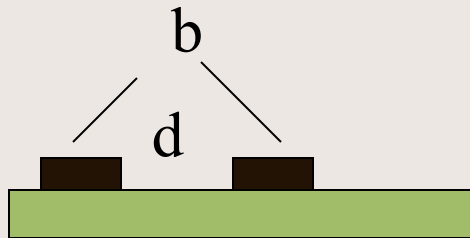
Электромагнитная совместимость

III

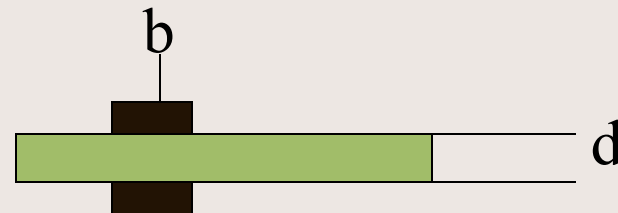
Паразитные параметры печатного монтажа

1) Токи утечки по изоляции

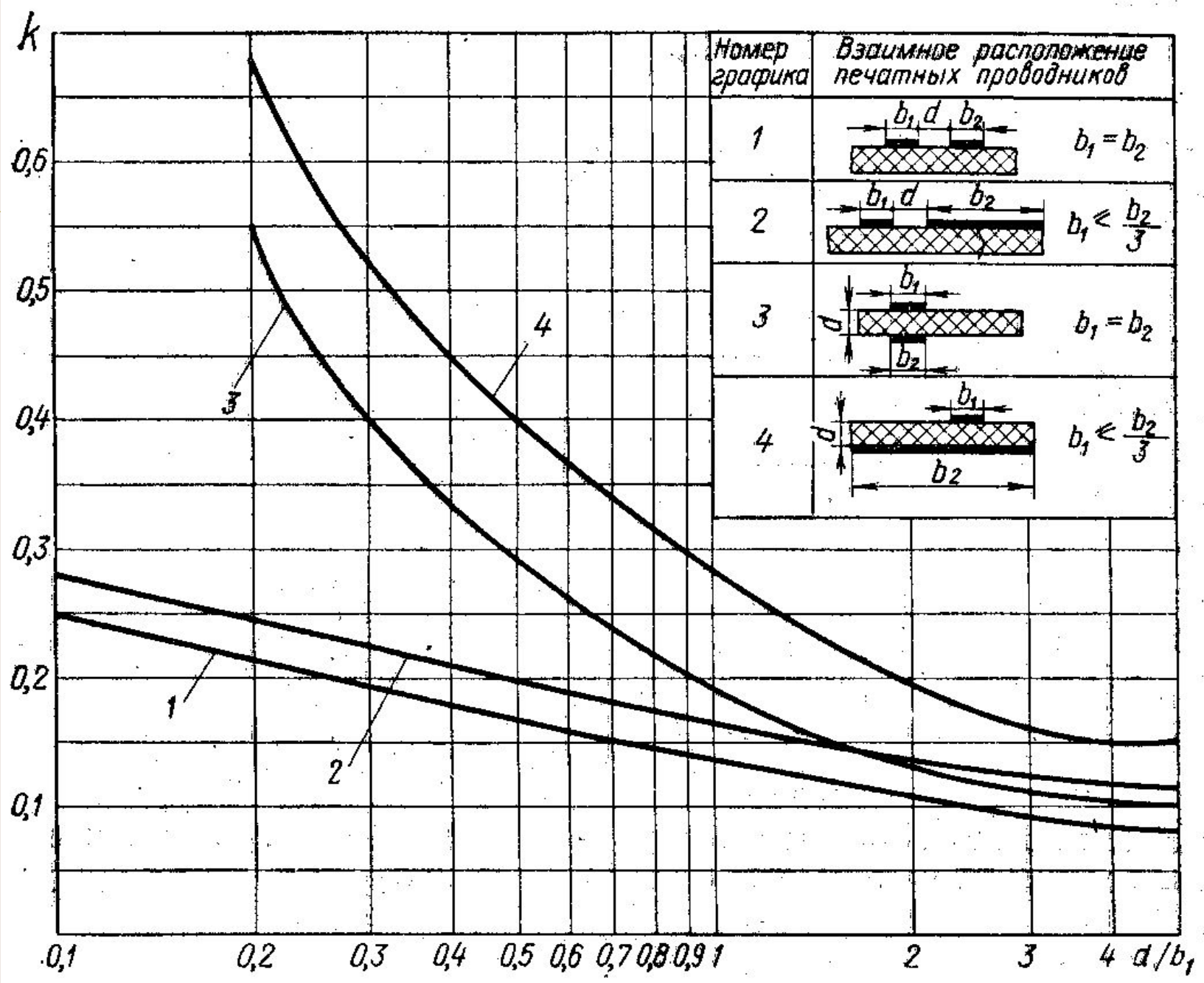
2) Емкость $C = kle$



a)



б)



k

0,6

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

0,1

0,2

0,3

0,4

0,5

0,6

0,7

0,8

0,9

1

2

3

4

d/b_1

3

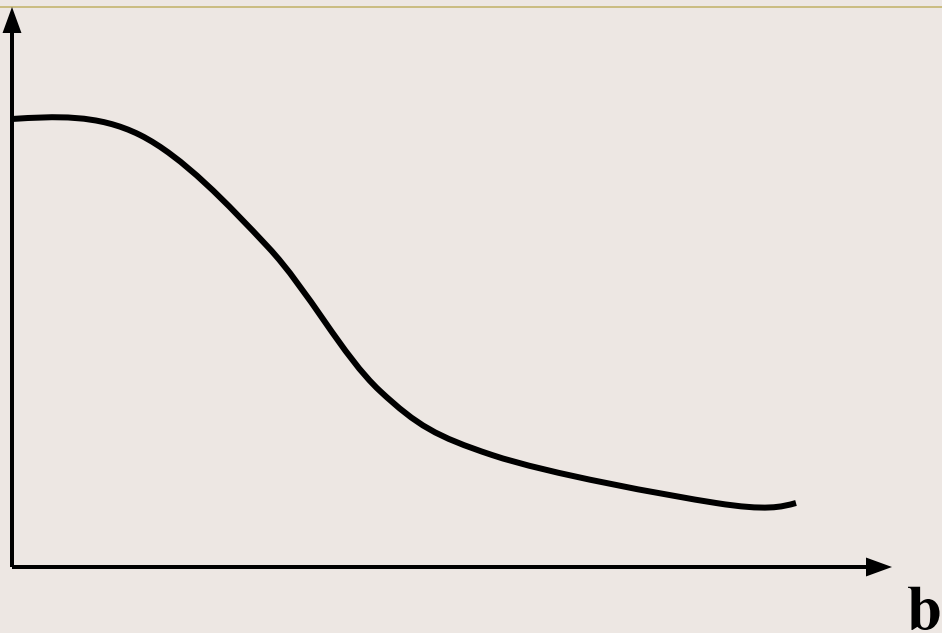
1

2

4

3) Индуктивность

L_{Π}



3) Взаимоиндуктивность

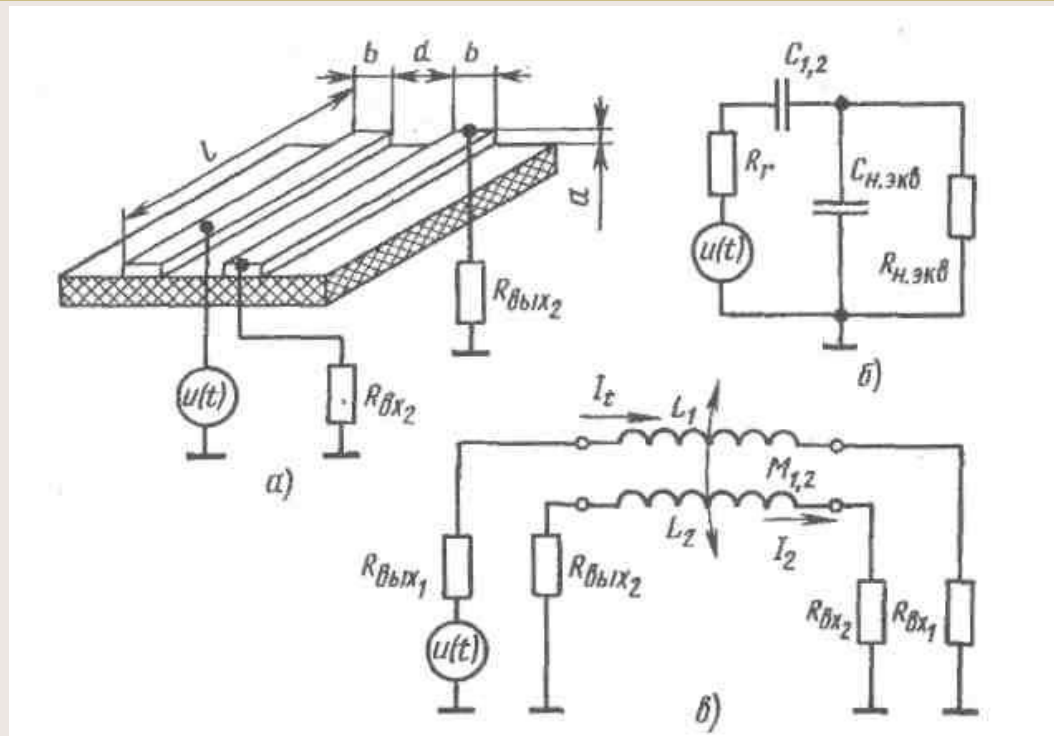
а) $M=2l*\ln(2l/(d+b))$

б) $M=2l*\ln(2l/d)$

4) Время распространения сигнала по печатному проводнику

$$t_3 = l\sqrt{LC}$$

Напряжение помех



Напряжение емкостной помехи U_{Π} , В, определяется как

$$U_{\Pi} = U * C * R_{\text{ВЫХ}} / t_{\phi},$$

где U - напряжение в проводнике - индукторе, В;

C – рассчитанная емкость, Ф;

$R_{\text{ВЫХ}}$ – выходное сопротивление микросхемы в цепи проводника-рецептора,

$$R_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^0 / I_{\text{ВЫХ}}^0, \text{ Ом};$$

t_{ϕ} – время нарастания фронта, с.

Напряжение взаимноиндуктивной помехи рассчитывается по формуле

$$U_{\text{п}} = M * I * t_{\text{ф}},$$

где I – ток в цепи источника помех, А;

M – взаимная индуктивность, Гн.

Напряжение емкостной и взаимоиндуктивной помехи $U_{\text{п}}$ не должно превышать напряжение помехоустойчивости $U_{\text{пу}}$ цифровых микросхем

$$U_{\text{п}} < U_{\text{пу}}.$$

Если это условие не выполняется, то необходимо уменьшить длину параллельных проводников и(или) увеличить расстояние между ними. В общем случае, решив последнее неравенство с использованием формул для C и M относительно параметра l , можно определить максимальную длину рядом расположенных параллельных проводников.