

Согласование интегральных элементов.

Часть 2*

Е. Кириллова

В первой части статьи были рассмотрены основные причины возникновения локального разброса параметров, топологические методы уменьшения рассогласования интегральных элементов и основные формулы расчета для отдельных пар и групп элементов. Ниже рассмотрены способы уменьшения электростатического взаимодействия и технологического влияния соседних структур; наиболее важные принципы построения согласованных интегральных элементов и даны рекомендации по согласованию интегральных элементов.

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Интегральные резисторы, как правило, состоят из слаболегированного кремния, и поэтому подвержены влиянию электростатического взаимодействия и модуляции напряжения [3]. Паразитная связь конденсатора с соседней электрической схемой через краевые поля также может вызывать модуляции напряжения и, как следствие, изменение емкости. Электростатические поля могут также передавать шум в чувствительные блоки с высоким импедансом. Основным способом уменьшения электростатического взаимодействия является электростатическое экранирование. Оно заключается в размещении между источником паразитного поля и элементом экрана из проводящего слоя (рис. 12).

Основные варианты электростатического экранирования следующие [1], [3]:

- размещение кармана под поликремниевыми и диффузионными резисторами, нижней обкладкой конденсатора для экранирования взаимодействия с подложкой;
- размещение металла над согласованными резисторами и емкостями для минимизации эффектов модуляции электрическим полем соседних элементов и шин, проходящих в верхних слоях металла;
- экранирующие проводники соединяют с узлами, напряжение которых наиболее близко к напряжениям на

экранируемых элементах, либо к аналоговой земле, или питанию.

Электростатическое экранирование не только предотвращает модуляцию удельной проводимости, но и обеспечивает значительное экранирование от емкостных связей. Подложка также может вносить шумы в резисторы и конденсаторы, полученные осаждением. Резисторы и конденсаторы, которые являются наиболее чувствительными к шуму, могут избавиться от них, используя комбинацию электростатических экранов над и под ними. Электростатическое экранирование может *уменьшить* или даже *устранить* эффект влияния инжекции заряда на согласование. Электростатический экран служит и как полевая охрана, противодействуя поверхностной инверсии высоким напряжением. Он должен соединяться с потенциалом, не очень отличающимся от потенциала на элементе, и часто соединяется с его выводом, имеющим положительный потенциал.

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СОСЕДНИХ СТРУКТУР

Присутствие поликремниевых областей около затвора может вызывать небольшие изменения в скорости травления поликремния [3]. Эти изменения приводят к рассогласованию в эффективных ширинах и длинах согласованных транзисторов. Точно так же размещение других диффузий около области канала может влиять на концентрацию в подложке и поэтому может вызывать изменения и в пороговом напряжении, и в характеристике крутизны. Край большого открытого участка кремния показывают некоторую степень перетравления по отношению к мелким чистым областям. Этот эффект может вызывать изменения в длине затворов поликремниевых МОП транзисторов. Изменения в скорости травления в МОП транзисторах обычно меньше, чем в поликремниевых резисторах, потому что поликрем-

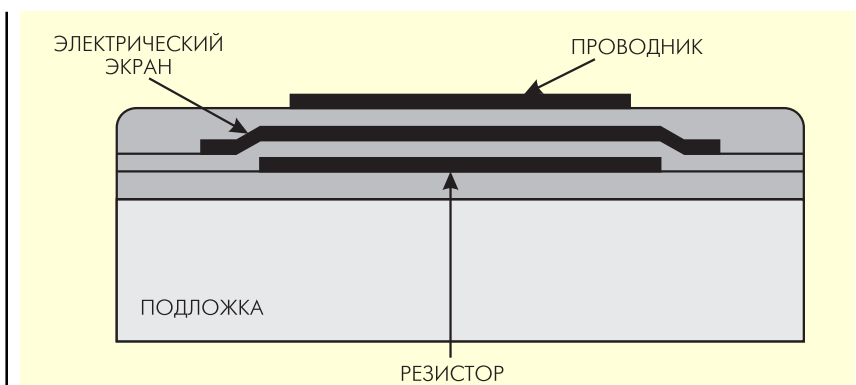


Рисунок 12 Пример электростатического экранирование поликремниевых резистора

* Начало: Chip News. № 9, 2005. С. 54–60.

ниевые затворы не лежат так близко друг к другу, как сегменты поликремниевых резистора. Если использовать транзисторы с относительно большой длиной канала, то можно достичь среднего или точного согласования по току, используя при этом фиктивные элементы, чтобы гарантировать однородное травление. Отсутствие фиктивных элементов может привести к рассогласованию по току в 1 % или более. Расстояние между фиктивными и рабочими затворами должно точно соответствовать расстоянию между рабочими затворами. Диффузия может заканчиваться на середине фиктивного элемента.

Размещение контактов над рабочими затворами МОП транзисторов вызывает существенное рассогласование порогового напряжения пары транзисторов. Изменения в гранулярности, неравномерное распределение легирования и механические напряжения также могут играть роль в рассогласовании, вызванном контактом.

Приводимые ниже рекомендации позволяют уменьшить технологическое влияние соседних элементов [1], [3]:

- области диффузии сторонних элементов должны располагаться вдали от каналов согласованных транзисторов, по крайней мере, на расстоянии больше, чем удвоенная глубина перехода диффузии;
- P-МОП транзисторы (для подложки p-типа) должны быть помещены глубоко внутри относительно границ окружающего их N-кармана;
- элементы, которые должны достичь среднего или точного согласования, должны использовать фиктивные сегменты по краям массива для обеспечения краевым рабочим сегментам условий (травление, диффузия и т.д.), тождественных условиям основной массы сегментов;
- нежелательно использовать непрерывное поликремниевое кольцо в качестве фиктивного сегмента для поликремниевых структур;
- недопустимо размещать контакты над затворами МОП транзисторов.

На рис. 13 и 14 приводятся примеры построения фиктивных элементов при согласованных резисторах (с подключением к основному телу резистора и без него) и конденсаторов.

На фиктивные сегменты желательно подавать напряжение земли/питания, чтобы предотвратить на них накопление плавающих потенциалов. Размеры

(ширина) фиктивных элементов, как правило, не имеют большого значения и могут быть уменьшены по сравнению с рабочими.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОГЛАСОВАНИЮ МОП ТРАНЗИСТОРОВ

N-канальные транзисторы, как правило, обеспечивают более высокую степень согласования, чем P-канальные транзисторы при прочих равных условиях [1], [3]. Это явление наблюдается в ряде различных процессов, включая варианты и с P-карманом и с N-карманом. P-канальные транзисторы показывают на 30–50% большее рассогласование по крутизне, чем аналогичные N-канальные.

Согласуемые МОП транзисторы разделяются на сегменты, или пальцы, позволяющие построить компактный массив. Самый простой тип массива — размещение многих пальцев транзистора параллельно. При этом допускается объединение общих истоков и/или стоков. На рис. 15 показан пример пары согласованных МОП транзисторов с

общим центром и фиктивными элементами. На рис. 16 приведен пример пары согласованных МОП транзисторов с перекрестными связями и фиктивными элементами [1], [3].

Для достижения наибольшего согласования желательно выбирать максимально возможную для данного применения площадь затворов транзистора. Среднее согласование обычно требует площади затвора в несколько сотен квадратных микрон, в то время как точное — несколько тысяч. Уменьшение толщины окисла подзатворного диэлектрика также положительно сказывается на повышении степени согласования.

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ МОП ТРАНЗИСТОРОВ

N-МОП транзисторы обычно согласуются более точно, чем P-МОП транзисторы. Это явление наблюдается в ряде различных процессов, включая варианты и с P-карманом, и с N-карманом. P-МОП транзисторы показывают от 30 до 50 % большее рассогласование по крутизне, чем сравнимые N-МОП.

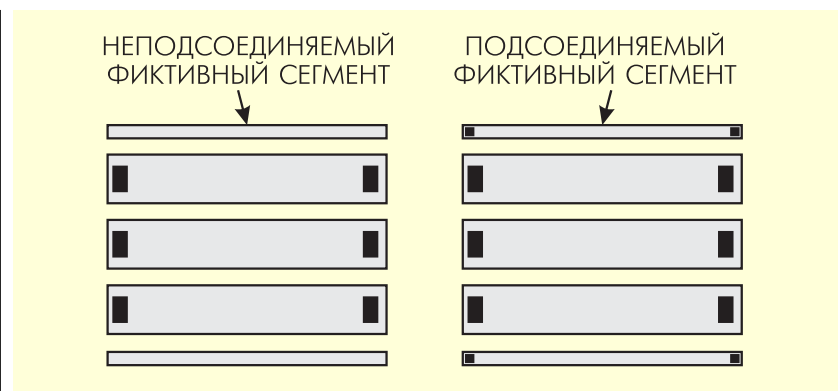


Рисунок 13 Примеры построения фиктивных сегментов для согласованных резисторов (неподсоединенные фиктивные сегменты не желательно использовать)

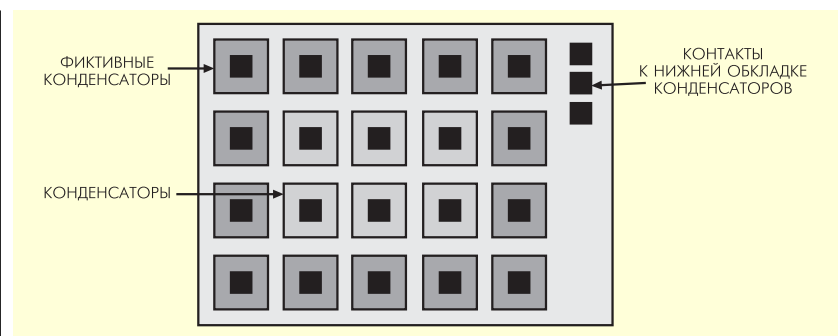


Рисунок 14 Пример построения фиктивных сегментов для согласованных конденсаторов

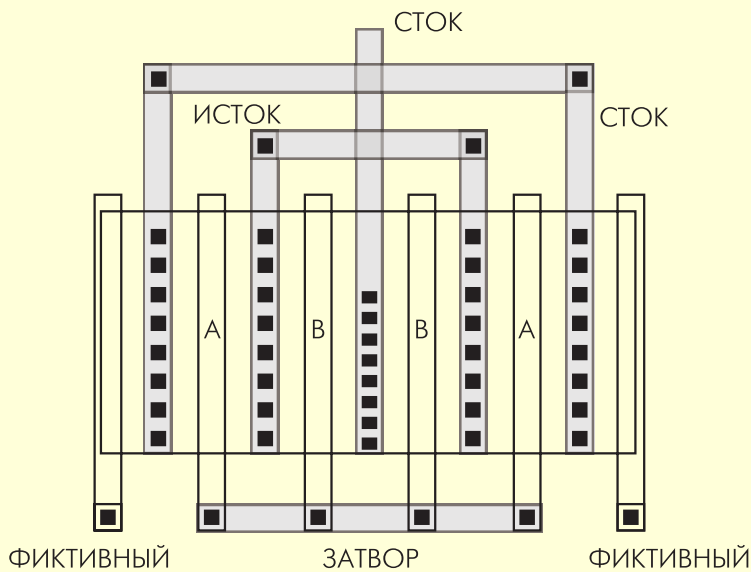


Рисунок 15 Пример топологии пары согласованных транзисторов (common centroid)

Следующие рекомендации суммируют наиболее важные принципы построения согласованных МОП транзисторов [1], [3]:

- использовать идентичную конфигурацию пальцев;
- использовать большие по площади рабочие области;
- ориентировать транзисторы в одинаковом направлении;
- размещать транзисторы, по возможности, вблизи друг от друга;
- использовать компактное размещение согласованных транзисторов;
- применять размещение с общим центром или с перекрестными связями сегментов;
- применять фиктивные элементы на краях массива пальцев транзисторов;
- размещать транзисторы в областях с низким градиентом механического напряжения;
- размещать транзисторы вдали от мощных элементов схемы;
- не размещать контакты над рабочими затворами;
- не проводить металл через рабочие затворы;
- размещать рабочие затворы вдали от всех переходов с глубокой диффузией;
- размещать точно согласованные транзисторы по осям симметрии кристалла;
- не позволять краям скрытого слоя пересекать область рабочего затвора;

- соединять затворы, набранные из пальцев, используя металлические связи.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОГЛАСОВАНИЮ РЕЗИСТОРОВ

Согласуемые резисторы разделяются на сегменты с одинаковой геометрией и конструктивным исполнением, которые объединяются в массивы [1], [3]. Сегменты согласованных резисторов должны содержать не менее пяти квадратов, обычное число квадратов в сегменте порядка двадцати. Если требуется сопротивление соответствующее дробному числу сегментов, для получения требуемого номинала предпочтительно использовать последовательно-параллельное соединение сегментов.

Желательно использовать максимально возможную в заданных условиях ширину квадрата резистора для достижения наибольшего согласования [1], [3].

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Минимальное согласование может быть получено без особой трудности, умеренное получено с использованием перемешивания. Точно согласованные резисторы трудно построить из-за изменений в сопротивлении контактов и наличия тепловых градиентов и градиентов механического напряжения.

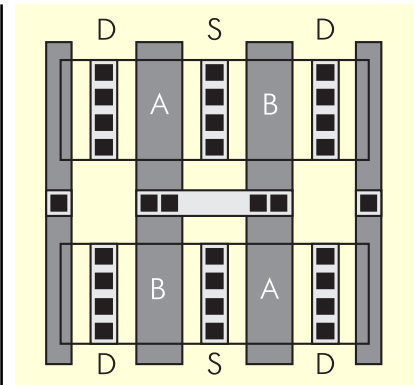


Рисунок 16 Пример топологии пары согласованных транзисторов с использованием перекрестных связей (cross coupled)

Следующие правила суммируют наиболее важные принципы построения согласованных резисторов [1], [3]:

- выполнять согласованные резисторы из одинакового материала;
- выполнять согласованные резисторы достаточной ширины;
- ориентировать согласованные резисторы в одном и том же направлении;
- использовать размещение с общим центром для массивов сегментов согласуемых резисторов;
- использовать фиктивные сегменты на краях массива;
- избегать коротких сегментов для резисторов;
- подключать согласованные резисторы так, чтобы исключить термоэлектрические эффекты;
- располагать согласованные резисторы в областях с низким механическим напряжением;
- располагать согласованные резисторы вдали от мощных элементов;
- располагать точно согласованные резисторы на осях симметрии кристалла;
- избегать эффекта модуляции охраняемым контуром;
- использовать поликремниевые резисторы вместо диффузионных;
- располагать поликремниевые резисторы на полевом окисле;
- использовать поликремниевые резисторы P-типа вместо резисторов N-типа;
- не допускать пересечения скрытым слоем согласованных диффузионных резисторов;
- использовать электростатическое экранирование;

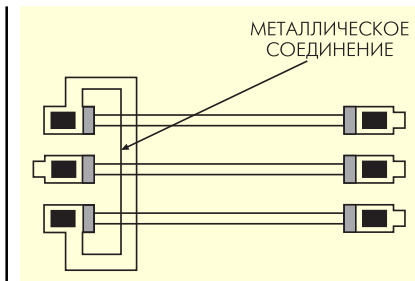


Рисунок 17 Пересечение металла согласованных резисторов

- избегать наличия не подсоединенного металла над согласованными резисторами;
- если металл все-таки пересекает согласованные резисторы, то он должен пересекать все сегменты одинаковым образом по специально выделенной низкоомной части;
- избегать чрезмерного рассеяния энергии на согласованных резисторах.

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОМ СОГЛАСОВАННЫХ РЕЗИСТОРОВ

При небольшом количестве металлических слоев (технологии с одним-двумя металлами) часто оказывается невозможным размещение экрана над резисторами [1], [3]. В этом случае:

- не рекомендуется пересечение сегментов согласованных резисторов проводниками, не связанными с их построением;
- допускается пересечение металлическими шинами с потенциалом, близким к локальному потенциалу, резисторов в месте пересечения;
- необходимо обеспечить равные условия по количеству, геометрии и месту пересечения для всех сегментов согласованных резисторов (рис. 17);
- желательно осуществлять пересечение резистора в специально выделенных низкоомных областях (удлиненная голова контакта к резистору) (рис. 18).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОГЛАСОВАНИЮ КОНДЕНСАТОРОВ

Оптимально согласованные конденсаторы обеспечивают наилучшую степень согласования по сравнению с другими интегральными элементами [1], [3].

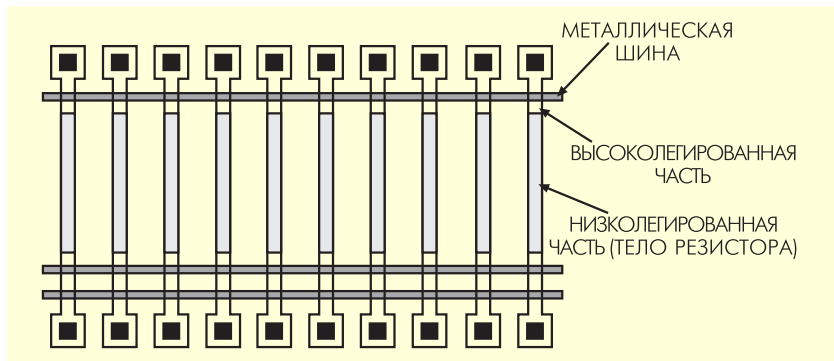


Рисунок 18 Пересечение резисторов шинами металла по низкоомным областям

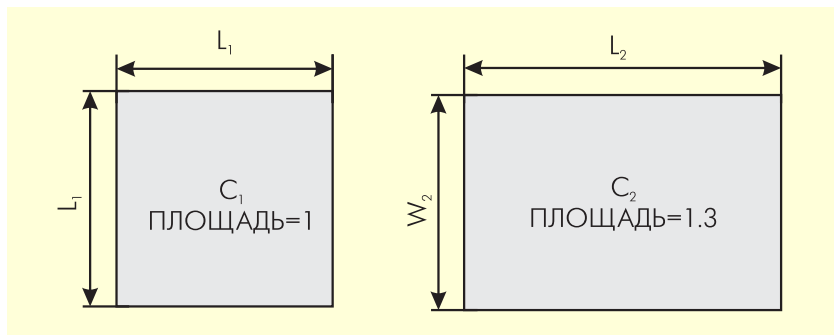


Рисунок 19 Способ построения нестандартного сегмента конденсатора

Согласуемые конденсаторы разделяются на квадратные сегменты, которые объединяются в массивы. Массивы сегментов согласованных конденсаторов размещаются по двумерным схемам с общим центром (в частности, можно использовать перекрестно-связанную топологию). Желательно использовать максимально возможную в заданных условиях емкость конденсатора для достижения наилучшего согласования. Сегменты согласованных конденсаторов не должны иметь площадь значительно меньше, чем 100 мкм² [1], [3].

Допускается только параллельное соединение сегментов в согласованных конденсаторах, так как при последовательном соединении значительную погрешность вносят паразитные емкости нижних обкладок. В связи с этим получение емкости с дробной частью емкости сегмента затруднено. В этом случае рекомендуется использование дополнительного сегмента с нестандартным размером (рис. 19), геометрия которого рассчитывается по формулам [1], [3]:

$$L_2 = \frac{C_2}{C_1} \times \left[1 + \sqrt{1 - \frac{C_1}{C_2}} \right] \times L_1, \quad (1)$$

$$W_2 = \frac{C_2}{C_1} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{C_1}{C_2}} \right] \times L_1, \quad (2)$$

В прецизионных схемах нежелательно использовать нитридные и оксинитридные диэлектрики между обкладками конденсатора из-за их подверженности диэлектрической поляризации [1], [3].

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Правильно построенные конденсаторы могут иметь согласование, несравнимое с согласованием любого другого интегрального элемента. Согласованные конденсаторы составляют основу для большинства изделий типа аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей.

Следующие правила суммируют наиболее важные принципы построения согласованных конденсаторов [1], [3]:

- использовать квадратные сегменты в матрицах согласованных конденсаторов;
- использовать максимально возможные по площади конденсаторы;
- располагать согласованные конденсаторы на полевом окисле;
- использовать размещение с перекрестными связями (с общим центром) в массиве сегментов согласованных конденсаторов;

- размещать фиктивные конденсаторы вокруг внешнего края массива;
- использовать электростатическую защиту для согласованных конденсаторов;
- уменьшать емкости проводников, соединяющих конденсатор;
- никогда не проводить металл по согласованным конденсаторам, за исключением электростатической защиты;
- желательно использовать диэлектрики из оксида кремния вместо нитридных и других для исключения эффектов диэлектрической поляризации;
- располагать согласованные конденсаторы в областях с низким градиентом механического напряжения;
- располагать согласованные конденсаторы вдали от мощных элементов;
- располагать согласованные конденсаторы на осях симметрии кристалла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в данной статье топологические методы построения согласованных интегральных элементов на базе современных КМОП технологий позволяют минимизировать негативные рассогласующие факторы, сопутствующие процессу изготовления и эксплуатации ИМС.

Соблюдение приведенных рекомендаций при проектировании таких прецизионных аналоговых ИМС, как АЦП, ЦАП, DC/DC-конвертеры и т.п., поможет существенно улучшить их выходные характеристики и получить высокую степень согласованности однотипных элементов.

Согласование интегральных элементов напрямую влияет на выход годных прецизионных аналоговых ИМС. Поэтому, повышая степень согласованности с помощью предложенных топологических методов, можно увеличить

выход годных аналоговых ИМС в несколько раз.

Литература

1. Эннс В.И., Кобзев Ю.М. Проектирование аналоговых КМОП ИС: Краткий справочник разработчика. М.: Горячая линия ТЕЛЕКОМ, 2005.
2. Денисенко В. Моделирование разброса параметров транзисторов в КМОП СБИС // Компоненты и технологии. 2003. № 8–10.
3. Hastings Allan. The Art of Analog Layout, Prentice Hall, 2001.
4. Адамов Ю., Губин Я., Сибатуллин А., Сомов О. Аналоговые блоки в системах на кристалле // Электроника НТБ. 2004. № 8.
5. Pelgrom M.J.M., Duinmaijer A.C.J. and Welbers A.P.G. Matching properties of MOS transistors // IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 24, no. 5. 1989, oct. P. 1433–1440.

ММП-ИРБИС

ЛИДЕР НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

ШИРОКАЯ НОМЕНКЛАТУРА

Входные напряжения
по постоянному току: 5; 9; 12; 9-18; 18-36;
36-72; 75-150; 200-340 В
по переменному току: 85-132; 175-265 В

Выходные напряжения: от 3,3 до 60 В

От 1 до 3 выходных напряжений

Выходная мощность от 1 до 1200 Вт

Заказные и модифицируемые источники

Тел./Факс: (095) 673-4308, 234-4267
E-mail: main@mmp-irbis.ru
<http://www.mmp-irbis.ru>

111024, г. Москва,
Андроновское шоссе, 26
ЗАО «ММП-ИРБИС»