

ОБМАНЧИВАЯ «ЗЕМЛЯ»

СЕРГЕЙ НИКОНОВ, инженер

«Земля» в электрических схемах часто понимается как нечто неизблемое с нулевым потенциалом. Однако это далеко не всегда так, что и доказывают рассматриваемые в статье простые примеры.

При изучении теории электрических цепей, как правило, знакомятся также с методами их анализа. Двама наиболее известными и, в какой-то мере, схожими между собой методами являются метод узловых потенциалов и метод контурных токов. Анализ цепи по методу узловых потенциалов начинается с выбора опорного узла, который, как предполагается, обладает нулевым потенциалом и обозначается как «земля».

Это допущение не влияет на корректность расчетов, если нет необходимости учитывать соотношение напряжений между анализируемой цепью и другими объектами. В то же время, выбор одного общего узла для нескольких цепей помогает упростить расчеты и их анализ.

В процессе изучения методологии расчета электронных схем мы обычно пропускаем множество полезных методов анализа, к которым относятся метод суперпозиции, принципы экви-

валентного генератора ЭДС и эквивалентного генератора тока, а также метод контурных токов. На практике, в основном, используется только метод узловых потенциалов и контурных токов (см. рис. 1).

После нескольких лет использования только такого подхода существует большая вероятность забыть многие фундаментальные понятия в теории электрических цепей, что, в свою очередь, порождает, например, заблуждения о полной безопасности использования отдельных земляных слоев для разных участков схем.

РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ

Земля на схеме часто рассматривается как некое кладбище для всех зарядов. На практике же это далеко не так. Узел цепи, принимаемый за землю, мы выбираем сами. В нем нет ничего особенно-

го, кроме того, что он обычно является общим для нескольких цепей. Такой узел не имеет особых физических свойств, а единственными накопленными зарядами в нем являются отрицательные заряды обкладки конденсаторов, у которых один из выводов соединен с землей. Все остальные имеющиеся заряды циркулируют по цепи (см. рис. 2). Следует четко понимать, что токи протекают по определенному контуру и в конечном итоге возвращаются к своему источнику.

Несмотря на то, что земляной слой схемы защищен от помех в цепях, большинство шумовых токов проходит через общий узел (см. рис. 3). Только благодаря корректному проектированию цепи сопротивление земляного слоя имеет незначительную величину, а разность потенциалов, как следствие, стремится к нулю.

Бытует мнение, что разделение земли двух связанных между собой цепей обе-

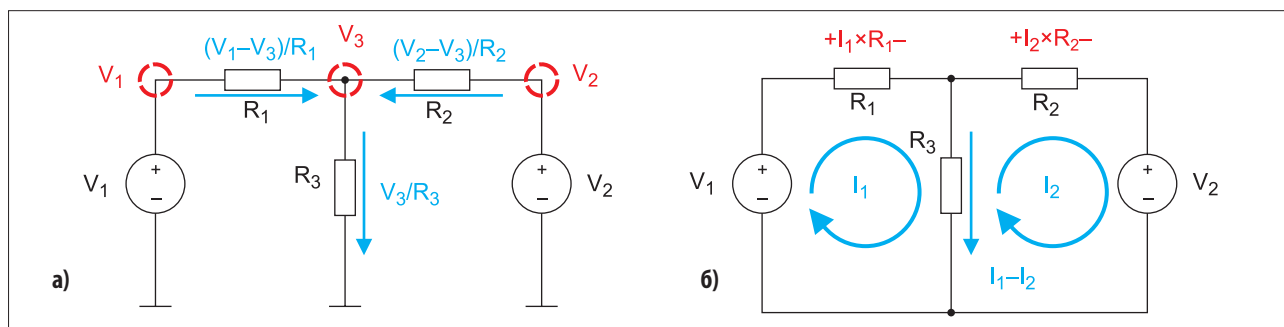


Рис. 1. Примеры использования метода: а) узловых потенциалов; б) контурных токов

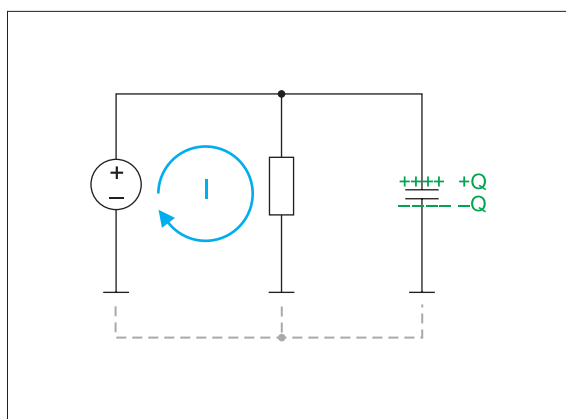


Рис. 2. Ток в контуре. Заряды на земляном слое – заряды обкладки конденсатора

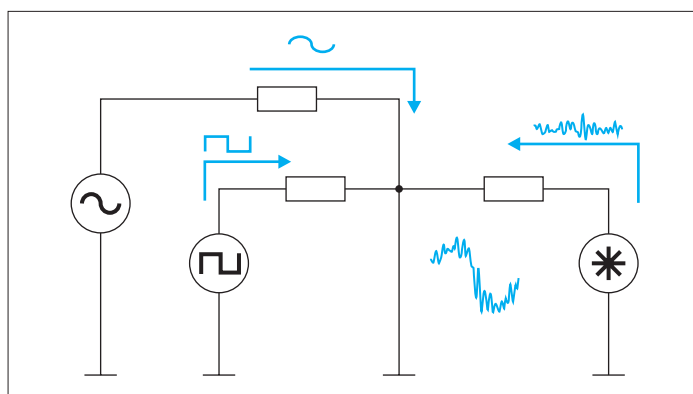


Рис. 3. Пример прохождения сигнальных и шумовых токов через общий узел. Низкое сопротивление земляного слоя является единственной гарантией того, что разность потенциалов между любыми двумя физическими точками в схеме незначительна

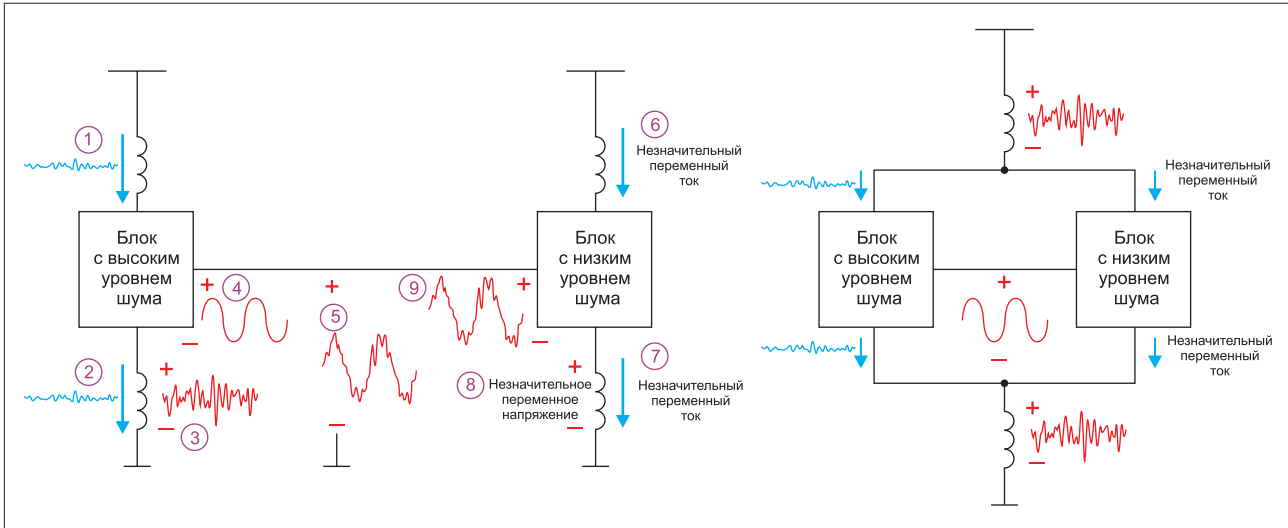


Рис. 4. Если участки схемы имеют отдельные уровни земли (схема слева), передаваемый сигнал серьезно искажается (этапы анализа помечены фиолетовыми кружками). При объединении земли (схема справа) сигнал передается без искажений, однако блок с низким уровнем шумов может пострадать при невысоком коэффициенте подавления нестабильности питания (PSRR)

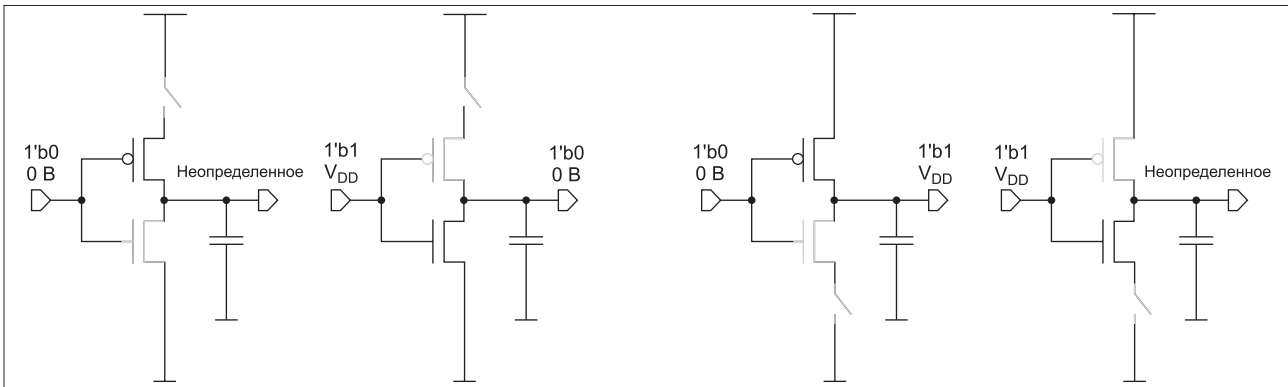


Рис. 5. При переключении на выходе образуется неопределенный уровень выходного напряжения, которое зависит от последнего состояния выходного напряжения на нагрузочном конденсаторе, токов утечки, а также соотношения между сопротивлениями выключения питания и земли

спечивает защиту схемы с низким уровнем шума от воздействия более высоких шумов другой схемы. Однако такой подход может стать одной из худших ошибок, которые инженер, работающий с радиочастотными приложениями, может по незнанию совершить. Разделение земли на части во многих случаях приводит к увеличению шума в передаваемом сигнале. Это утверждение может показаться нелогичным, но становится понятным при рассмотрении полной схемы передачи как (см. рис. 4). Аналогичный эффект также наблюдается при подключении МОП-структур к выделенному земляному слою.

В цифровых схемах с малым энергопотреблением переключаются не только цепи земли, но и питания (см. рис. 5). Однако предпочтение обычно отдается именно переключению земляного тракта, что обусловлено меньшими размерами N-канальных МОП-транзисторов по сравнению с P-канальными при одинаковом сопротивлении в открытом состоянии.

Цепи питания и земли могут иметь разное время переключения. Рассинхронизация возникает из-за различий

во времени задержки работы элементов и различий в форме сигналов. В том случае, когда земляной слой имеет относительно высокое полное сопротивление, активное напряжение заметно падает на питающей и земляной шине, что снижает эффективное напряжение питания и увеличивает задержку в работе КМОП-элементов. Кроме того, даже если

среднее падение напряжения на шине невелико, шумовые токи могут создавать значительное переходное шумовое напряжение. Как видно из рисунка 6, фронт сигнала, который поступает на вход от внешнего блока или тестовой микросхемы, может иметь временной сдвиг [1]. Его уровень зависит от величины переходного шума и полярности.

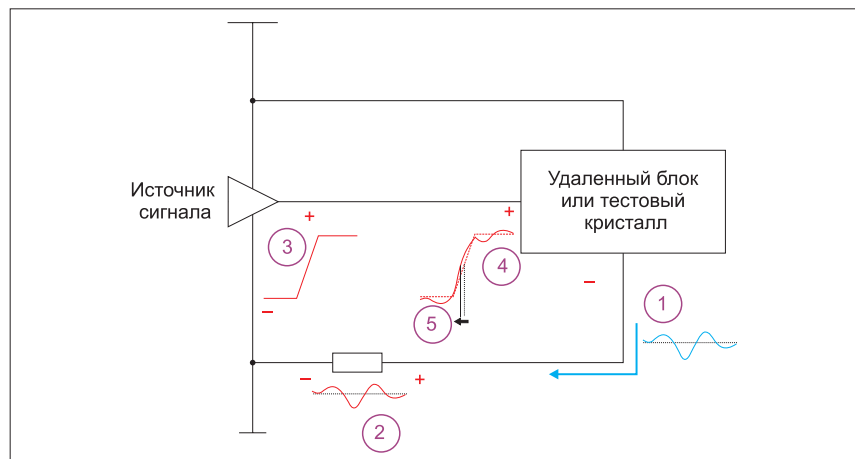


Рис. 6. Профиль переходного напряжения питания и тока заземления создает аналогичный профиль напряжения заземления, что влияет на время нарастания фронтов сигнала. Этот эффект уменьшают развязывающие конденсаторы для сглаживания пульсаций и снижения сопротивления шины питания и земли

Этот эффект заметнее проявляется в случае сигналов с большим временем нарастания/спада.

РАЗДЕЛЯТЬ ИЛИ НЕ РАЗДЕЛЯТЬ?

Одним из важных моментов, требующих внимания, является правомерность разделения земли на разных участках схемы. После прочтения предыдущего раздела у читателей может сложиться впечатление, что разделение земли является нежелательным этапом проектирования. В то же время, часто это является обычной практикой. В общем

случае проектирование единого слоя земли с низким сопротивлением и низкой индуктивностью намного лучше, чем проектирование нескольких земляных шин, когда необходимо учитывать обратные токи и магнитное взаимодействие контуров большой площади с протекающими в них высокочастотными токами.

Тем не менее, в определенных случаях нет возможности избежать разделения земляных шин. Например, у нас имеется кварцевый генератор и цифровой блок с высоким уровнем шумов, которые

совместно используют один земляной слой, как показано на рисунке 7. В цифровой блок поступают шумовые токи от источника питания, которые затем возвращаются через земляную шину и соединительный провод. В результате на проводе земли напряжение существенно искажено. Поскольку этот связующий провод является общим для цифрового блока и кварцевого генератора, искажения накладываются на синусоидальное напряжение генератора.

При необходимости разделить земли рекомендуется сделать следующее.

- Установите как можно больше развязывающих конденсаторов вокруг блока с высоким уровнем шума (см. рис. 8), чтобы уменьшить количество шумовых токов и свести к минимуму искажения на смежных блоках и их выходах.
- Минимизируйте электрическое взаимодействие или ток между блоком с высоким уровнем шума и другими блоками. Для этих целей на участке с высоким уровнем шума используйте драйверы с высоким выходным сопротивлением, а в области с низким уровнем шума – буферы с высоким входным сопротивлением.

Земляной узел выбирается условно для упрощения анализа цепи. Все заряды перемещаются в контурах и не прекращают в нем свое движение.

Чтобы предвидеть и разрешать проблемы, связанные с землей, следует представить полную схему со всеми физическими соединениями без земляного узла. Определите в ней контуры и пути протекания тока. Прежде чем принимать проектное решение об объединении или разделении земли в разных областях, тщательно изучите возможные последствия.

Рассмотрим пример. На рисунке 9а показан источник тока на N-канальном МОП-транзисторе с конечным значением полного сопротивления стока. Какова величина импеданса со стороны источника напряжения питания на низкой частоте? Ответ очевиден: импеданс зависит от выходной характеристики конкретного транзистора.

Теперь в той же схеме выберем сток N-канального МОП-транзистора в качестве земляного узла, а не источника питания, как показано на рисунке 9б. Значение импеданса осталось прежним – изменился только потенциал вывода «+» у источника напряжения относительно земли. Не следует обманываться в таких случаях при определении земляного узла. ☺

ЛИТЕРАТУРА

1. Maxim Integrated Application Note #4345. *Well Grounded, Digital Is Analog.*

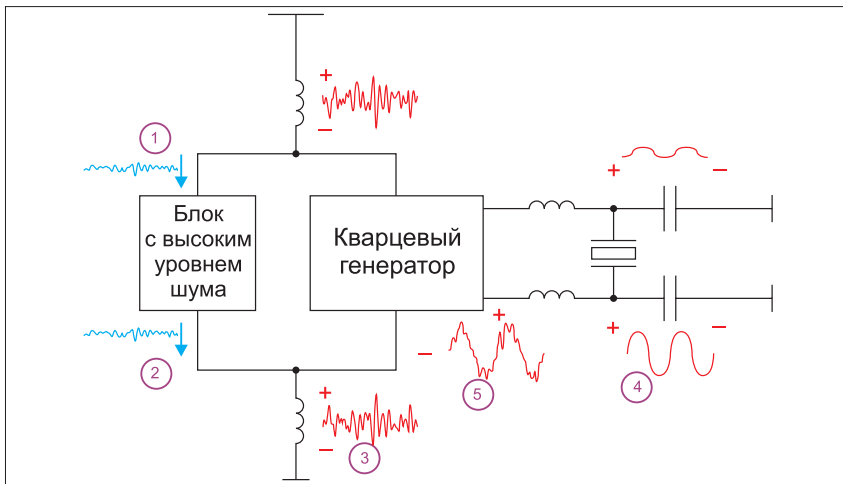


Рис. 7. Блок с высоким уровнем шума создает искажения в напряжении на проводе заземления. Они накладываются на «чистое» напряжение во внутренних узлах кварцевого генератора

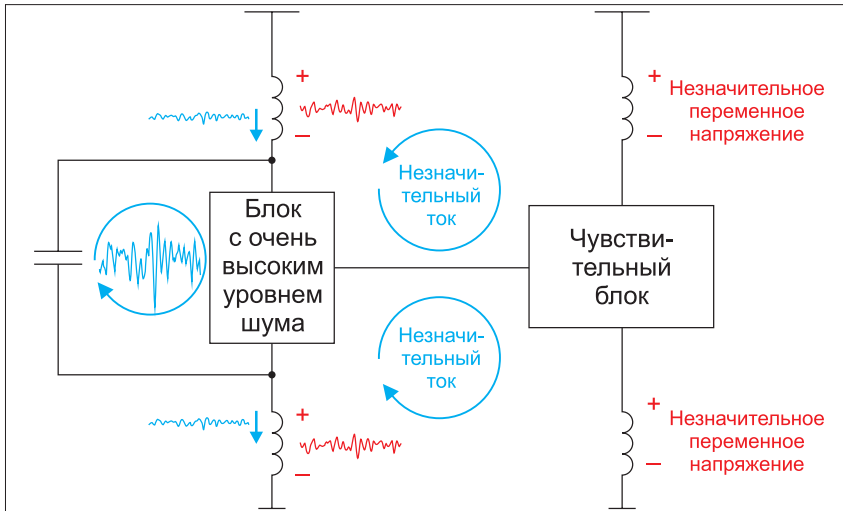


Рис. 8. Развязывающий конденсатор в блоке с высоким уровнем шумов сглаживает большую часть помех через источник питания и землю. Уменьшение величины тока из шумной области в чувствительную минимизирует помехи

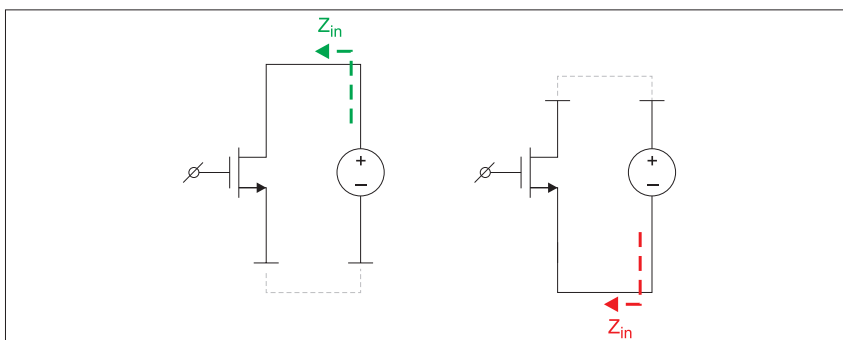


Рис. 9. Определение земляного узла не влияет на значение импеданса