

Конструкции на быстродействующих КМОП-микросхемах

Александр Одинец

Чтобы использовать преимущества быстродействующих КМОП ИМС, следует учитывать их взаимодействие с окружающей средой и ограничения компонентов. Особенно важны: развязка шума в системе, а также управление уровнями переходных процессов и устойчивых состояний.

Конструкции, использующие быстродействующую КМОП-логику, такую как в сериях MM54HC/74HC, могут достигать характеристик, которые превосходят LS-TTL конструкции. Однако, чтобы оптимизировать эти характеристики, следует использовать соответствующие методики проектирования. Эта статья рассматривает вопросы помехоустойчивости, а также входные-выходные характеристики ИМС.

Быстродействующая КМОП-логика является в основном семейством цифровых ИС, которое сочетает в себе характеристики TTL (биполярных) и CD4000 (КМОП) серий. По причине высокого быстродействия семейства следует лучше осознавать требования быстродействующих систем, чем

в случае логики семейства CD4000B. Хотя конструирование семейства MM54HC/74HC сравнимо в помехоустойчивости с семейством CD4000B, его высокое быстродействие требует использования методик заземления системы и фильтрации помех источника питания, обычно используемых при конструировании LS-TTL систем.

Следующие разделы рассматривают руководство по общему применению, чувствительность к шуму и помехоустойчивость, а также характеристики шума источника питания логики семейства 54HC/74HC. Следует заметить, что, если это не оговорено, рассуждения применимы также к TTL-совместимому подсемейству HC-логики 54HC/74HC.

Следуйте основным руководящим принципам

Основные правила конструирования с использованием семейства 54HC/74HC подобны тем, которые применимы к семействам 74LS, CD4000B, 54C/74C. Во-первых, при нормальных статических рабочих условиях входной сигнал не должен превышать VCC или опускаться ниже «земли». В типичных быстродействующих системах переходные процессы и звон линии могут вызвать моментальное нарушение этого правила на входах, заставляя ИМС войти в режим защёлкивания.

Защёлкивание происходит, если один из диодов входной или выходной защиты смещается в прямом направлении из-за превышения напряжения выше VCC или снижения ниже «земли». В результате внутренний паразитный диод ИМС закорачивает VCC на «землю». Рисунок 1 показывает диоды в КМОП ИС схематически (а) и в упрощённом разрезе кристалла (б).

Благодаря некоторым тонкостям производства защёлкивание диода не является проблемой для семейства MM54HC/74HC. Однако существуют ограничения для токов, которые могут выдержать защитные диоды и внутренняя металлизация, поэтому для переходных процессов высокого уровня (длительность импульса меньше 20 мс и входы выше VCC или ниже «земли») следует ограничивать ток внутреннего диода ИС на уровне 20 мА или 100 мА в импульсе. Обычно бывает достаточно включения простого резистора последовательно со входом.

Электропитание прибора является другой важной целью проектирования. Не следует подавать сигнал на входы до тех пор, пока не подключены VCC и «земля». Также не следует включать или выключать силовые линии, пока не сняты или ограничены входные сигналы, как описано выше. Оба условия могут сместить входные паразитные диоды в прямом направлении, приводя к чрезмерным диодным токам.

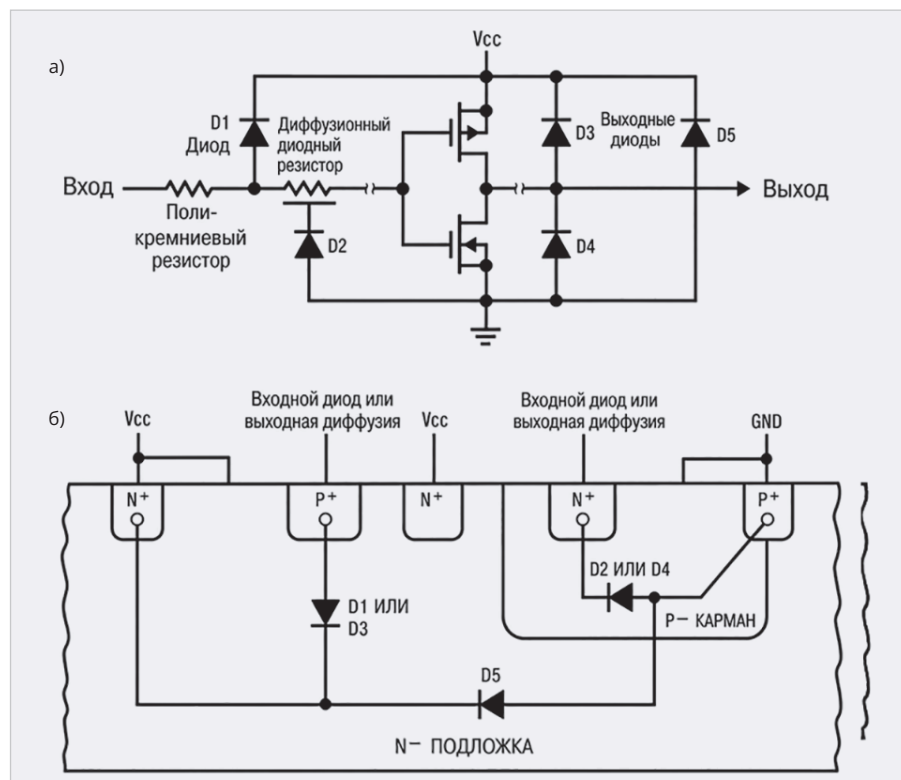


Рис. 1. Диоды в ИС КМОП-логики могут быть легко повреждены чрезмерными токами. Перемена полюсов источника питания или большие входные/выходные токи могут вызвать выгорание диода

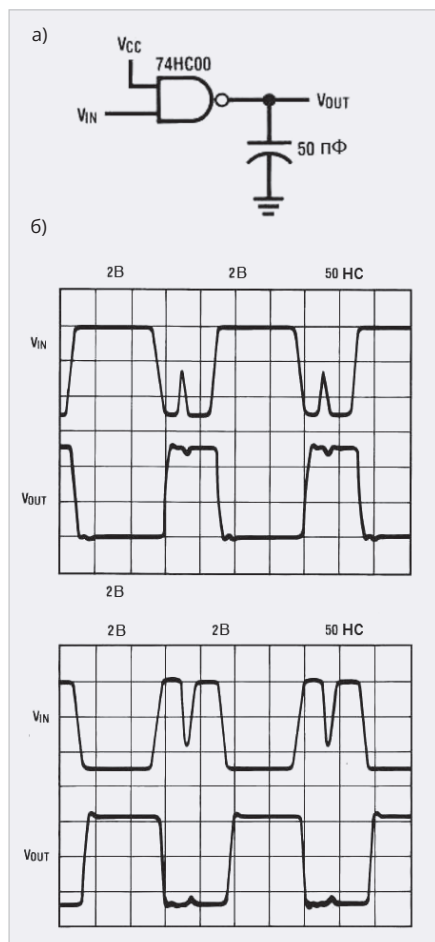


Рис. 2. Рисунки чётко показывают реакцию элементов 74HC00 на воздействие «пиков» шума (а). Элемент показывает помехоустойчивость на уровне 2 В или больше (б). Кроме того, помехоустойчивость одинаково хороша как для отрицательных, так и для положительных пиков шума

Кроме того, рис. 1 показывает эти диоды и возможные токовые пути. Если эти условия неизбежны, следует ограничивать внешние токи, чтобы предотвратить повреждение схем 54НС/74НС, или использовать специальные соединители, которые подают питание раньше входных сигналов. Некоторые приборы семейства (особенно HC4049/50) имеют модифицированные входные структуры и могут выдержать подачу сигналов на входы перед подачей напряжения питания.

Незаземлённые входы являются проблемой, которой часто не придают значения. КМОП-входы имеют чрезвычайно большой импеданс и, если они оставлены неподключёнными, могут дрейфовать к любому напряжению. Эта ситуация может привести к логическому сбою и бесполезному энергопотреблению. Кроме того, открытые входы чувствительны к электроста-

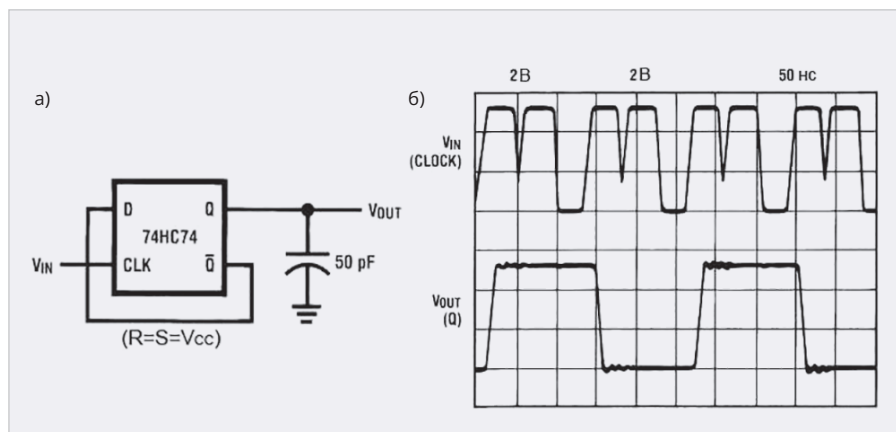


Рис. 3. Показывает высокую помехоустойчивость входа синхронизации. Выход триггера типа 74HC74 (а) не изменяется при воздействии на вход синхронизации импульсной помехи амплитудой более 2 В (б)

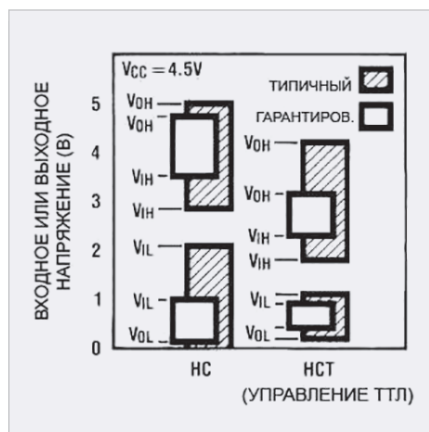


Рис. 4. Показывает запас помехоустойчивости для HC-КМОП и комбинации HCT-КМОП-ТТЛ. Видно, что полностью КМОП-система демонстрирует наибольшую помехоустойчивость

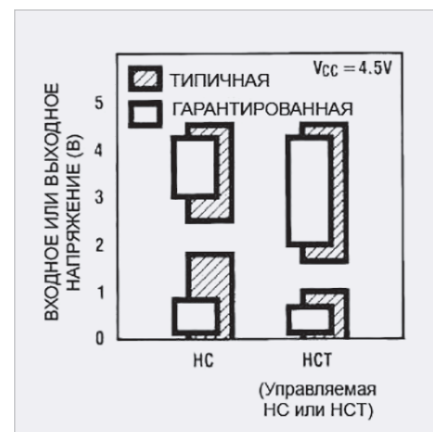


Рис. 5. Рисунок показывает помехоустойчивость семейств, основанных на HC- и HCT-логике. HC более устойчива к «земляному» шуму, HCT более устойчива к шуму по цепи питания

тическому повреждению. Таким образом, следует подключать неиспользуемые входы к VCC или «земле» либо через резистор, либо непосредственно.

И наконец, для правильного логического функционирования следует использовать входы со временами спада и нарастания быстрее, чем 500 нс. Более медленные времена нарастания могут привести к логическим ошибкам и генерации.

Соблюдайте правила выходов

Следует соблюдать определённые правила использования выходов 54НС/74НС, так же, как и для входов. Выходные напряжения не должны превышать напряжение питания, и токи выходных диодов не должны превышать 20 мА. Кроме того, среднеквадратичное значение выходного тока нагрузки не должно пре-

вышать 25 мА для 4 мА приборов со стандартными выходами или 35 мА для 6 мА приборов. Металлические проводники кристалла диктуют это ограничение. Нарушения могут привести к долговременному повреждению. Намного большие токи (пиковое значение больше, чем 100 мА), возникающие от зарядки ёмкостных нагрузок и управления линиями, являются нормальным явлением и не создают существенных проблем. На практике эффективное значение выходного тока не должно превышать требование по выходному номинальному току. В отличие от входов, неиспользуемые выходы должны быть оставлены неподключёнными, чтобы позволить выходу переключаться без потребления постоянного тока. При тестировании устройства часто бывает необходимо закоротить выход одного КМОП-прибора, чтобы пере-

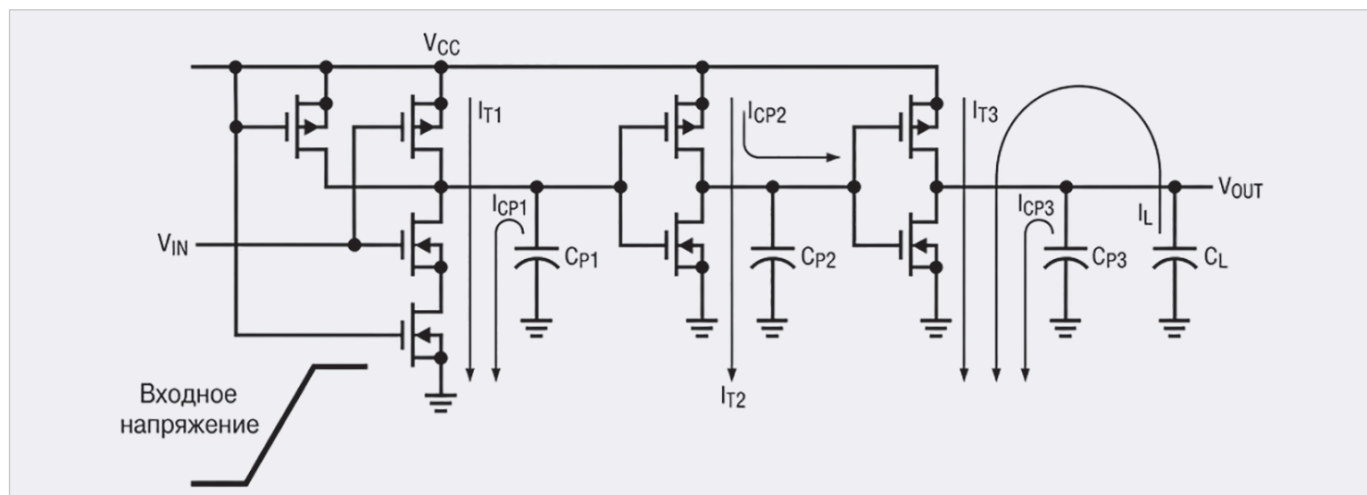


Рис. 6. Схема показывает токи в элементе 74НС00, которые возникают при подаче положительной входной ступеньки. Также показаны внутренние паразитные и внешние нагрузочные ёмкости

грузить его и вынудить появление определённого логического уровня на входе ИС, управляемой этим выходом. В других случаях может потребоваться закоротить выходы только один раз. Так можно сделать без деградации параметров ИС, если следовать нескольким правилам. При стендовых испытаниях приборов 54НС/74НС, к примеру, можно закорачивать один выход на несколько минут без повреждения. При автоматическом тестировании можно закорачивать до восьми выходов продолжительностью до одной секунды. Опять же, здесь ограничение накладывается металлизацией.

Пояснения по электропитанию

Теперь, когда мы разобрались со входными и выходными сигналами, уделим внимание электропитанию. Например, уровни питания влияют на логическую работу устройства. Однако для НС-приборов напряжение питания следует поддерживать в диапазоне от 2 В до 6 В и в диапазоне от 4,5 В до 5,5 В для НСТ-приборов. Напряжения величиной 7 В и 0 В не причинят вреда ИС, но производительность при этих уровнях не гарантируется. Однако НС и НСТ (за исключением одновибраторов и триггеров Шмитта) могут работать при напряжении питания вплоть до 1,4 В.

Для любой ИС опасно менять местами полюсы источника питания. При этом диод подложки сместится в прямом направлении между V_{CC} и «землёй» (рис. 1), приводя к чрезмерным токам и повреждению ИС. Для входов и выходов нельзя позволять эффек-

тивным значениям токов V_{CC} или «земли» превышать 50 мА для 4 МА приборов или 70 мА для 6 МА приборов. Опять же, переходные процессы

не создают существенных проблем, пока их эффективные величины остаются в пределах допустимых значений.

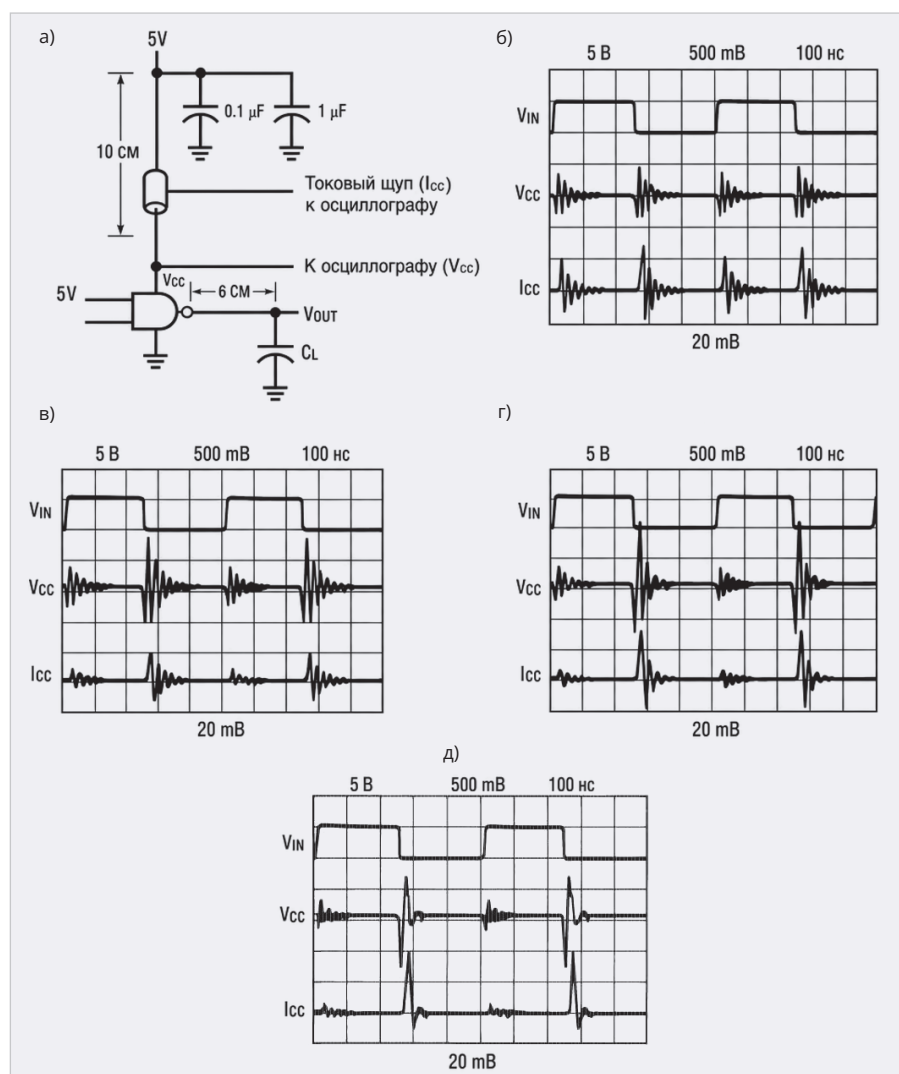


Рис. 7. Показывает эффекты ёмкостных нагрузок. Рисунок (а) — тестовая схема. Рисунки от (б) до (д) показывают «пики», возникающие без нагрузки и с ёмкостными нагрузками 15, 50 и 100 пФ, соответственно «звон» возникает из-за эффектов линий передач в тестовой схеме

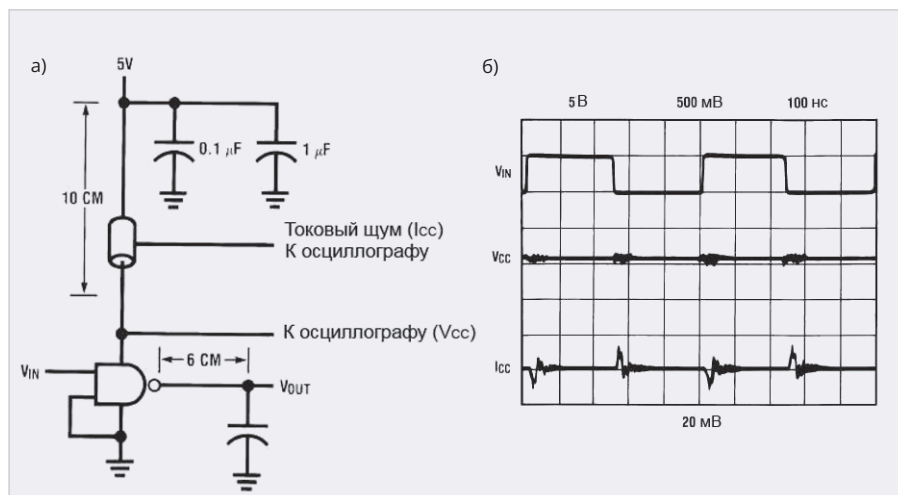


Рис. 8. Схема на кристалле элемента 74НС00 перед выходным каскадом (а) генерирует слабые токовые пики, как показано на рисунке (б). В тестовой схеме переключается только один вход (но не выход). Следует отметить очень малые помехи, возникающие в цепи питания

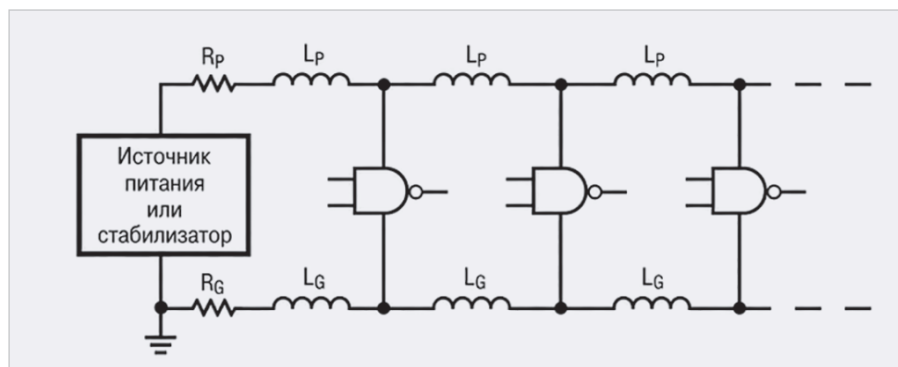


Рис. 9. Эквивалентная схема для шин источника питания показывает последовательные индуктивности «земли» и «питания». Старайтесь минимизировать эти индуктивности посредством аккуратного проектирования топологии печатной платы

Понятие шума

Что случится, если только что рассмотренные сигналы не являются «чистыми»? В системах цифровой логики «шум» определяется как внешнее напряжение в сигнальных или питающих цепях. Для КМОП-, ЭСЛ- или ТТЛ-приборов системный шум, который достаточно велик, может повлиять на целостность логических сигналов. Семейства КМОП-логики, такие как CD4000 и 74С, высокоустойчивы к определённым типам системного шума. Эта устойчивость получается в основном благодаря природе КМОП, но также и в связи с тем, что медлительность приборов сокращает помехи из-за самоиндукции цепей питания и перекрёстных помех и предотвращает реакцию логики на короткие наведённые извне или излучённые переходные процессы.

Однако в быстродействующих КМОП (которые примерно в 10 раз

быстрее, чем логика семейства CD4000) перекрёстные помехи, шум, наведённый по цепям питания, и шумовые переходные процессы становятся существенными. Более высокие скорости позволяют прибору реагировать быстрее на внешние наведённые шумовые переходные процессы и делать акцент на индуктивных и ёмкостных паразитных межсоединениях, которые увеличивают помехи из-за самоиндукции и перекрёстных помех.

Поскольку семейство НС-КМОП точно определяет входные уровни, подобно уровням логики семейства CD4000, подавление его шумов по постоянному току также превосходит LS-ТТЛ. Так как быстродействующее КМОП-семейство имеет выходной импеданс в 10 раз меньше, чем у приборов семейства CD4000, оно менее чувствительно к шумовым токам, наводимым на его выходы. В результате меньшие пара-

зитные напряжения индуцируются для заданной величины тока.

Чтобы количественно определить эти шумовые параметры, сначала определим «помехоустойчивость» – способность прибора предотвратить распространение шума от входа к выходу. Точнее говоря, это величина напряжения, которое может быть приложено ко входу и не вызовет изменения состояния выхода. Для НС-КМОП эта помехоустойчивость составляет приблизительно 2 В; в наихудшем случае это максимальные входные Низкий и Высокий логические уровни, указанные в спецификации.

Помехоустойчивость является важным свойством, но запас помехоустойчивости более пригоден, потому что он определяет величину шума, который является допустимым для системы и при котором система сохраняет правильную логическую работу. Он определяется как разница между выходным Низким (или Высоким) логическим уровнем одного элемента и входным Низким (или Высоким) логическим уровнем элемента, которым управляет данный элемент.

К примеру, в НС-КМОП, использующем VCC 4,5 В, типичными выходными уровнями являются «земля» и VCC, и входные пороги составляют VIN = 3,15 В и VIL = 0,9 В. Эти величины дают запас помехоустойчивости приблизительно 1300 мВ (логическая единица) и 850 мВ (логический ноль). Запас помехоустойчивости для семейства LS составляет 700 мВ и 400 мВ соответственно. Следует заметить, что входные уровни 54НС/74НС слегка смещены в сторону «земли», поэтому ИС лучше устойчивы к шуму по VCC, чем к «земляному» шуму.

Чтобы проиллюстрировать запас помехоустойчивости и помехоустойчивость, рис. 2 показывает выходной сигнал, получающийся в случае подачи на вход 74НС00 нескольких типов искусственного шума. Типично, что даже 2 В или больший входной шум вызывает малое изменение на выходе.

На рис. 3 показано, как шум влияет на тактовый вход 74НС74. Опять же, никаких логических ошибок не происходит при 2 В или большем тактовом шуму.

Подсемейство ИС 54НСТ/74НСТ имеет входной буфер, специально сконструированный, чтобы соответствовать входным ТТЛ-уровням в 0,8 В и 2 В. Поэтому характеристики их помехо-

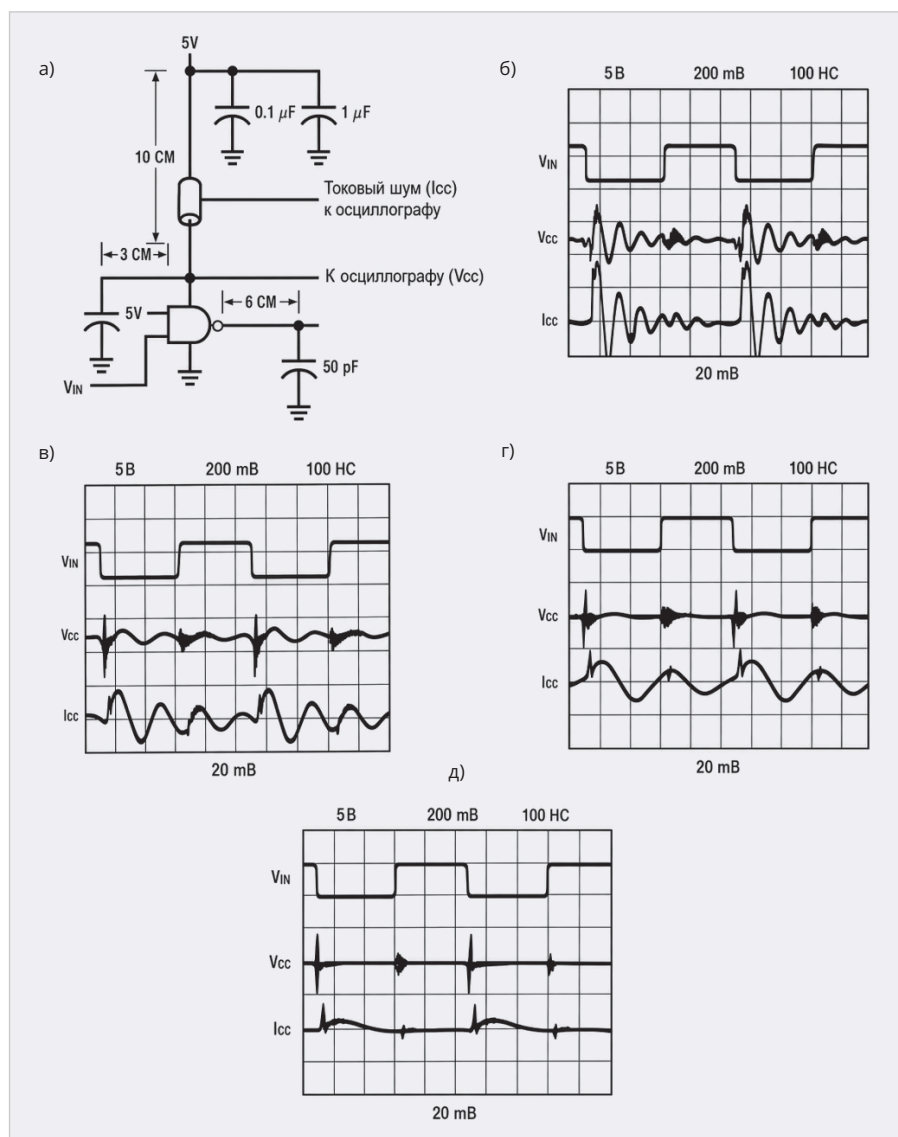


Рис. 10. Демонстрирует важность развязки. Рисунки от (б) до (д) показывают переходные процессы в источнике питания, возникающие, когда 74HC00 использует блокирующие конденсаторы 1, 4, 7, 10 и 100 нФ соответственно

устойчивости в основном отличаются от характеристик приборов 54НС/74НС. При оценке этих различий отметим два основных применения для НСТ-логики: в ТТЛ- или КМОП-системе, или в полностью КМОП-, НС- или НСТ-системе.

В первом случае НСТ-входы управляются выходами, которые являются в основном ТТЛ-выходами и специфицируют выходные напряжения на уровне 0,4 В и 2,4 В (или 0,5 В и 2,7 В). В этой ситуации заданный запас помехоустойчивости подобен ТТЛ: 400 мВ для логического нуля и 400 мВ или 700 мВ для логической единицы. Эти величины, показанные на рис. 4, значительно меньше величин, свойственных для полностью НС-системы.

Теперь рассмотрим второй случай. При использовании НСТ вместе с НС выходные логические уровни почти

эквивалентны уровням напряжения питания. Поэтому заданный для НСТ запас помехоустойчивости приблизительно равен 700 мВ для логического нуля и 2,4 В для логической единицы. На первый взгляд, высокий запас помехоустойчивости для логической единицы может показаться странным, однако это является компромиссом между помехоустойчивостью по уровням логического нуля и логической единицы. Сравните две передаточные функции элементов на рис. 5: прибор НСТ имеет точку логического перехода на уровне 1,4 В, в то время как НС-элемент имеет точку перехода 2,4 В. Таким образом, типичная производительность НС в два раза больше НСТ для «земляного» шума, в то время как для VCC шума НСТ примерно на 50% лучше.

Какой же вывод? В нормальной системе (включая полностью КМОП-

системы) НС обеспечивает лучшую помехоустойчивость, чем НСТ. Единственный случай, где НСТ могут быть более полезны, так это в системах, сконструированных с бесшумной «землей» и «грязным» VCC. Естественно, это приближение не самое лучшее. Второй факт, выдвигаемый этими передаточными функциями, заключается в том, что НС консервативно специфицировано для своих входных и выходных логических уровней, тогда как НСТ специфицируется более жестко. Поэтому, даже если пределы спецификации для НСТ кажутся лучше, действительная производительность системы показывает, что НС обеспечивает лучший полный запас помехоустойчивости.

Рассмотрим системный шум

Теперь обратимся к детальному рассмотрению системного шума, который можно сгруппировать в несколько категорий в зависимости от источника. Тип шума диктует соответствующую методику его подавления.

- Шум источника питания ИСС, генерируемый в линии источника питания, образуется от переключения логики в КМОП-схемах.
- Отражения в линиях передачи, нежелательные явления «звона» и «просечек» возникают от сигналов, распространяющихся вдоль неправильно завершённых линий передачи и сигнальных линий.
- Перекрёстные помехи сигналов вызываются ёмкостной или индуктивной связью внешних напряжений от одной сигнальной линии к другой или к линии источника питания.
- Излучённый шум, радиочастотное явление, которое возникает внутри быстродействующей логической системы, излучается на другие системы. Оно возникает от излучённой высокочастотной энергии при переключении логики. Этот шум не является основной проблемой в отношении целостности сигналов, но может интерферировать с другими системами.

Пики напряжения по цепи источника питания являются, возможно, самыми важными составляющими системного шума. Когда любой элемент изменяет логическое состояние, он генерирует токовый «пик», который производит переходное напряжение. Если эти переходные процессы

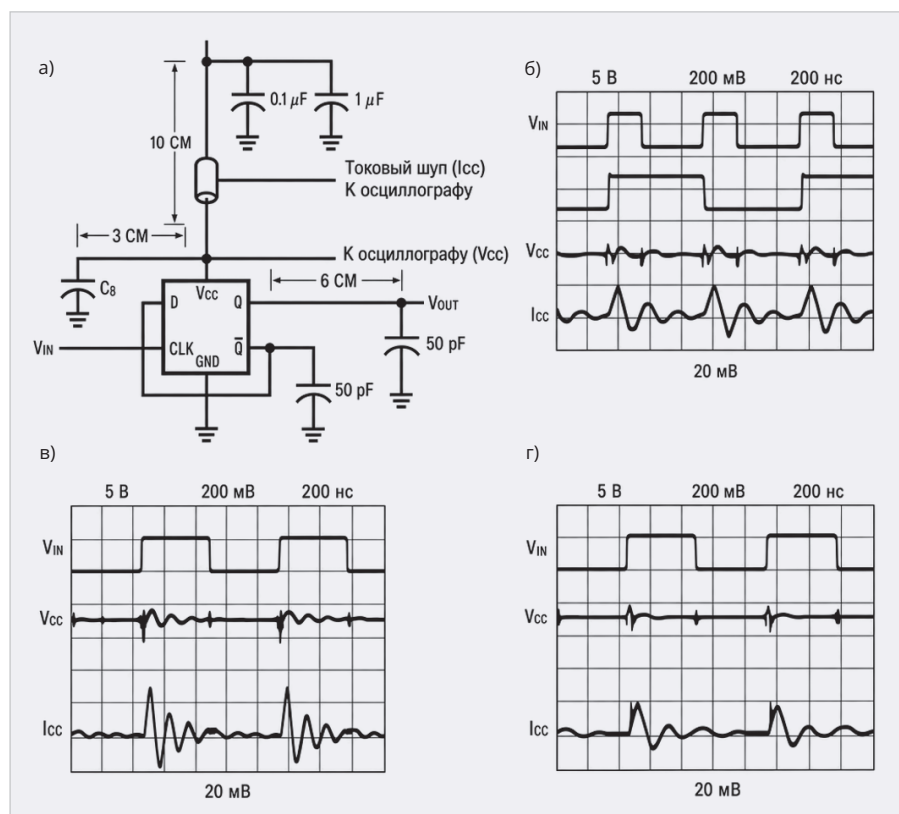


Рис. 11. Показывает результаты, подобные изображённым на рис. 10. Эти рисунки показывают эффекты развязки триггера 74НС74 конденсаторами от 1 (б) до 10 мкФ (г). Можно видеть, что 10 мкФ блокирующий конденсатор уменьшает пульсации в цепи питания приблизительно на 40% по сравнению с конденсатором ёмкостью 1 мкФ

становятся слишком большими, они могут вызвать логические ошибки, потому что падение напряжения питания вызывает сбой внутренней логики или по той причине, что «пик» по цепи питания на выходе одной схемы создаёт напряжение внешнего шума на входе следующего прибора.

Если КМОП-логика находится в состоянии покоя, то между VCC и «землёй» ток практически не течёт. Но когда внутренний элемент или выходной буфер изменяет состояние, мгновенный ток протекает от VCC на «землю». Этот ток имеет две составляющие: ток, необходимый для заряда или разряда любой паразитной или нагрузочной ёмкости, и ток, который течёт непосредственно от VCC к «земле», когда р- и n-канальные транзисторы включаются на мгновение в момент переключения входного сигнала.

Рис. 6 показывает пути для этих токовых составляющих внутри элемента 74НС00 при подаче положительной ступеньки сигнала на вход прибора. CP1, CP2 и CP3 представляют внутренние паразитные ёмкости; CL представляет внешнюю нагрузочную ёмкость. IT1, IT2 и IT3 соответству-

ют токам, которые протекают через оба n- и p-канальные транзисторы в момент переключения. CP1, CP2 и CP3 – это заряжающие токи для ёмкостей. Переходный процесс при переключении, вызываемый изменением состояния ненагруженного выхода, типично потребляет 40 мА (пиковое значение).

Рисунок 7б показывает «пики» тока и напряжения, возникающие от переключения одиночного ненагруженного элемента И-НЕ. Рисунки от 7в до 7д показывают увеличение токовых «пиков» из-за добавления 15, 50 и 100 пФ нагрузок. Большая величина «звона» происходит от эффектов линии передач тестовой схемы.

«Звон» возникает частично из-за того, что КМОП-элемент переключается из очень высокого в очень низкий импеданс и обратно. Следует заметить, что даже для нагрузок средней величины нагрузочный ёмкостный ток становится главной токовой составляющей, контролируемой значительным увеличением тока из ненагруженного состояния к случаю со 100 пФ нагрузкой.

Хотя внутренняя логика генерирует токовые «пики» при переключении,

всё же большая часть «пикового» тока происходит от переключения выходных схем, поскольку выходы имеют самые большие р- и n-канальные токи и самые большие паразитные и нагрузочные ёмкости. Рисунок 8 показывает ток ICC для элемента 74НС00 при переключении одного входа, другие заземлены (таким образом, переключений выхода не происходит).

Наилучший способ уменьшить напряжение шума переходных процессов – это выполнить хорошую разводку шин питания. Следует поддерживать низкий импеданс по переменному току от каждого VCC входа схемы на «землю». В одной модели для шины питания (рис. 9) шины VCC и «земли» представляют индуктивности, сопротивления и ёмкости. Чтобы уменьшить переходное напряжение, паразитные индуктивности шин питания нужно делать как можно меньшими уменьшением длины трасс, увеличением их ширины, использованием «земляных» слоёв, методик полосковых и микрополосковых линий передач и развязыванием источника питания с помощью блокирующих конденсаторов.

Для эффективной развязки питания блокирующие конденсаторы должны обеспечивать заряд, требуемый токовым «пиком» на время его появления с минимальным изменением напряжения. Приблизительную величину блокирующего конденсатора можно вычислить из следующего выражения:

$$C_{\text{ВРЯЗКА}} = \frac{I_{dt}}{dV} = \frac{(\text{ПИКОВЫЙ ТОК}) \cdot (\text{ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПИКА})}{(\text{ДОПУСТИМОЕ ПАДЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ})}$$

Рассмотрим пример: типовая схема MM54HC/74HC имеет переходный ток переключения ICC около 20 мА, продолжающийся приблизительно 20 нс (исключая «звон»). Если допустить пиковый шум величиной 400 мВ, требуемая ёмкость блокировочного конденсатора составит: $(20 \text{ мА})(20 \text{ нс})/0,4 \text{ В} = 1 \text{ нФ}$ на каждый выход.

Для того чтобы предотвратить дополнительные пики напряжения, этот блокирующий конденсатор должен иметь низкое индуктивное сопротивление. Поэтому следует использовать высокочастотные керамические конденсаторы и помещать их как можно ближе к ИС, чтобы минимизировать индуктивность проводников. Приблизительную величину допустимой индуктивности даёт следующее выражение:

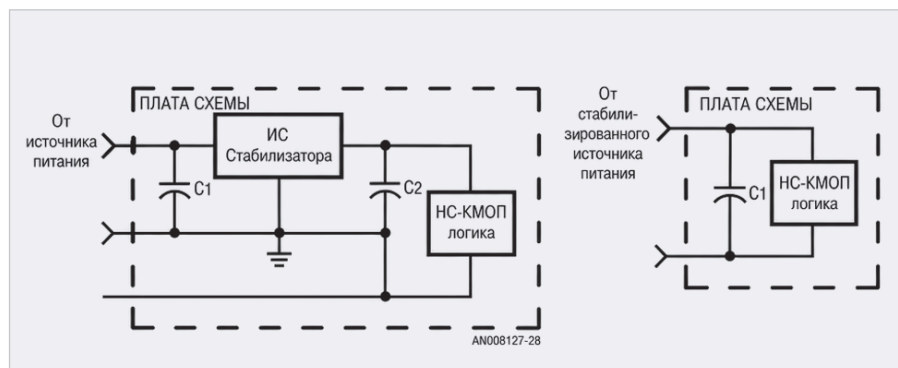


Рис. 12. Схема показывает способ шунтирования при использовании местных стабилизаторов (а); показывает способ шунтирования при использовании центрального стабилизированного источника (б), при этом желательно использовать танталовые или алюминиевые электролитические конденсаторы

$$L_{\text{SUPPLY}} = \frac{V_{dt}}{di} = \frac{(\text{ПИКОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ})}{(\text{ПИКОВЫЙ ТОК})} \cdot \frac{(\text{ВРЕМЯ НАРАСТАНИЯ ИЛИ СПАДА ПИКА})}{1}$$

К примеру, ограничивая индуктивный шумовой «пик» на уровне 100 мВ, при токе 20 мА и времени нарастания 4 нс, получим: $(0,4 \text{ В}) / (4 \text{ нс}) / 20 \text{ мА} = 80 \text{ нГн}$. Заметим, что в дополнение к локальной развязке очень быстрых переключений также необходима развязка «пиков», генерируемых ИМС на плате. Для развязки устанавливают конденсатор большой ёмкости для сглаживания длинных временных периодов.

Чтобы показать, как развязывание влияет на шум в цепях питания в реальных ситуациях, рис. 10 показывает переходные процессы источника питания, которые возникают при выборе различных величин развязывающих конденсаторов. В этом примере переключается один элемент ИС типа 74НС00, и 1, 4, 7, 10 и 100 нФ конденсаторы подключаются к источнику питания проводниками длиной приблизительно 10 см.

Рисунок 11 представляет подобные результаты, полученные для прибора типа 74НС74. Следует заметить, что в обоих случаях (хотя ситуация без блокировочного конденсатора не показана) даже 1 нФ конденсатор значительно уменьшает переходные напряжения.

Основываясь на эмпирических или теоретических рассуждениях, можно определить набор руководящих принципов. Эти практические принципы служат только как основание для системы, которая должна обеспечивать хорошие результаты. Следовательно, существует некоторая «свобода действий» в случае их применения в практических конструкциях. Как эмпирическое правило, обычно

хорошей практикой конструирования является ограничение шумов VCC и «земли» до уровня меньше, чем 250 мВ.

Прежде чем представить руководящие принципы, исследуем некоторые сравнительные свойства более ранних КМОП, НС, НСТ и LS-TTL приборов. Во-первых, из-за более высоких скоростей и больших выходных токов требования к развязке цепей источника питания для НС-приборов более строгие, чем для более ранних КМОП-приборов с металлическими затворами. По сравнению с теми же требованиями для LS-TTL требования для НС/НСТ подобны или немного строже, в зависимости от приложения.

Кроме того, для произвольной логики 54НС/74НС и 54LS/74LS подобны, но в приложениях управления шинами НС приборы могут производить большие пики. И наконец, НСТ-логика требует лучшего заземления, чем НС-логика. В действительности меры по конструированию на её основе близко соответствуют LS-TTL. Однако, как и НС, НСТ создаёт большие пики по шине питания VCC в приложениях управления шинами.

Теперь представим руководящие принципы.

- Делайте разводку шин питания как можно короче. При использовании двухсторонних или многослойных печатных плат применяйте полосковые линии, линии передачи или «земляные» слои.
- Делайте шины «заземления» как можно короче, и на печатных платах делайте их как можно шире, даже если ширина трассы изменяется. Используйте отдельные «земляные» дорожки, чтобы запитать сильноточные приборы, такие как реле и драйверы линий передач.

- В системах, совмещающих линейные и логические функции, и где шум источника питания критичен для производительности аналоговых компонентов, используйте отдельные шины питания или даже отдельные источники питания.

- При использовании местных стабилизаторов блокируйте их входы с помощью танталового конденсатора ёмкостью не менее 1 мкФ (рис. 12а) и шунтируйте их выходы танталовыми или электролитическими конденсаторами в диапазоне от 10 до 50 мкФ (рис. 12б).

- Если система использует централизованный стабилизированный источник питания, используйте танталовый электролитический конденсатор ёмкостью от 10 до 20 мкФ или алюминиевый электролитический конденсатор ёмкостью от 50 до 100 мкФ, чтобы развязать шины питания VCC, подключённые к печатной плате.

- Обеспечивайте локальную развязку. Для произвольной логики эмпирическое правило диктует приблизительно 10 нФ на каждые 2–5 корпусов и 100 нФ на каждые 10 корпусов. Эти конденсаторы можно сгруппировать, но более эффективно распределить их между приборами. Если конструкция имеет значительное количество синхронной логики с выходами, которые переключаются одновременно, рекомендуется использовать дополнительную развязку. Триггеры и восьмеричные буферы в шинно-ориентированных схемах также требуют дополнительную развязку. Заметим, что схемы с проводным монтажом могут требовать большей развязки, чем многослойные или печатные платы с «земляным» слоем.

- Для схем, которые управляют линиями передач или большими ёмкостными нагрузками (например, микропроцессорными шинами), используйте 10 нФ керамический конденсатор вблизи с выводами питания прибора.

- И наконец, завершайте общие проводники линий передач вблизи драйверов.

Литература

1. AN-375.pdf. Fairchild Semiconductor Corporation. URL: www.fairchildsemi.com.

