

УДК 621.382

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ МИКРОСХЕМ

© 2017 Р.О. Мишанов, С.В. Тюлевин, Г.П. Шопин, М.Н. Пиганов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 14.03.2017

Обоснована необходимость учёта нагрузочной способности логических элементов и микросхем. Предложено устройство для определения нагрузочной способности микросхем. Устройство содержит генератор прямоугольного напряжения, используемую, вольтметр, элементы нагрузки, коммутатор, элемент И, компаратор, счётчик импульсов, источник микросхему опорного напряжения.

Ключевые слова: *нагрузочная способность, интегральная микросхема, устройство определения*

Радиоэлектронные средства (РЭС) широко используются во всех областях народного хозяйства, поэтому на РЭС возлагают все более сложные функции, что приводит к ее непрерывному усложнению. Соответственно возрастают требования, предъявляемые к качеству работы РЭС в процессе эксплуатации [1, 2]. Одним из перспективных направлений поддержания работоспособного состояния аппаратуры, повышения ее надежности и качества является прогнозирование ее будущего состояния в процессе эксплуатации. При этом наиболее эффективным является индивидуальное прогнозирование (ИП) [3-5].

Для разработки эффективных операторов прогнозирования (прогнозных моделей) требуется знание информативных параметров для оценки конкретных прогнозируемых параметров для каждого электрорадиоизделия (ЭРИ) [6]. В ряде случаев целесообразно использовать методы экстраполяции [7-9]. Построение моделей проводится по результатам обучающего эксперимента [10]. Наиболее слабым звеном обучающего эксперимента является контроль параметров ЭРИ, в том числе микросхем [11]. Особую остроту вызывает процесс контроля цифровых микросхем. Известные устройства контроля полупроводниковых микросхем имеет низкую точность, что снижает эффективность и достоверность отбраковки некачественных образцов и не позволяет определять их нагрузочную способность [3, 4, 11]. Для определения нагрузочной способности микросхем можно использовать способ [12], связанный с нахождением наибольшего числа входов логических элементов, которые можно подключить к выходу испытываемой микросхемы без ухудшения ее

параметров. Для определения нагрузочной способности дискретных схем [13], целесообразно применять устройство содержащее коммутатор, три генератора, триггер, усилитель, индикатор, дифференцирующий элемент, элемент И и блок памяти. Недостатками этих устройств являются низкие точность и достоверность определения нагрузочной способности микросхем.

Цель работы: повышение точности и достоверности определения нагрузочной способности микросхем.

Нагрузочная способность. Нагрузочная способность - параметр выхода микросхемы, характеризуемый быстродействием и выходным током драйвера, определяющим количество подключаемых входов микросхем или прямой токовой нагрузки для подключения реле, светодиода или какого-либо другого элемента. Термин «нагрузочная способность» в компьютерной технике возник сразу после создания первых вычислительных машин. В зависимости от реализации направление тока может быть различно. Речь может идти как о нагрузочной способности входа, например ТТЛ логика, так и о нагрузочной способности выхода, например КМОП логика.



Рис. 1. КМОП выход микросхемы

При проектировании современных дискретных ЭВМ приходится учитывать нагрузочную способность логических элементов. Бесконечное

Мишанов Роман Олегович, аспирант. E-mail: kipres@ssau.ru

Тюлевин Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств

Шопин Геннадий Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: piganov@ssau.ru

подключение нагрузки либо сожжёт элемент, либо напряжение в данном участке цепи опустится до такого состояния, что работа ЭВМ станет нестабильной или неверной[14, 15].

Рассмотрим подробнее, как устроен выход современной микросхемы на примере КМОП технологии (кроме КМОП также могут быть ТТЛ микросхемы, ЭСЛ или выход с открытым коллектором). На рис. 1 показан выход базового элемента КМОП микросхемы. Он представляет из себя два полевых транзистора: вверху Р-канальный, внизу N-канальный.

Такой выход микросхемы работает следующим образом. Р-канальный транзистор постоянно закрыт, пока не подано на затвор напряжение ниже напряжения истока на определённый порог, называемое пороговым напряжением. Когда Р-канальный транзистор открыт, он пропускает ток от истока к стоку, в данном случае на выход и на N-канальный транзистор. N-канальный транзистор также постоянно закрыт, пока не подано положительное пороговое напряжение относительно истока, отпирающее его. В данном случае ток пойдёт от выхода и Р-канального транзистора на землю. Если затворы транзисторов не соединены, то получается 4 возможных варианта работы данной схемы:

1. Все транзисторы закрыты, ток не втекает и не вытекает.
2. Открыт только Р-канальный транзистор и ток вытекает.
3. Открыт только N-канальный транзистор и ток втекает.
4. Открыты оба транзистора. В данном случае произойдёт короткое замыкание питания на землю через оба открытых транзистора, и как поведёт себя выход предсказать сложно. Если транзисторы исправны, то выставится напряжение пропорционально внутреннему сопротивлению транзисторов. В реальности такой режим приводит к выходу транзисторов из строя. В зависимости от схемы включения, токовую нагрузку определяет один или оба транзистора. Если элемент, подключаемый к выходу микросхемы нагружен на землю, то работает Р-канальный транзистор. Если – к питанию, то N-канальный.

Для повышения быстродействия N и Р канальные транзисторы стараются делать комплементарной парой, то есть транзисторами с близкими характеристиками. Но в рамках одной микросхемы Р-канальный транзистор геометрически получается гораздо больше N-канального. Если их делать одинаковыми физически, то N-канальный транзистор пропускает гораздо больше тока. Если выход микросхемы предназначен для управления реле или подключения светодиода, при этом скорость переключения не критична, то включение этих элементов предполагается N-канальным транзистором, через который и пойдёт управляющий ток. Р-канальный же будет просто отключать нагрузку.

При подключении микросхем друг к другу важна скорость работы, а Р и N канальные транзисторы должны иметь схожие характеристики. Вход микросхемы аналогичен выходу. Это такой же Р-N-инвертор, за исключением того, что ток, идущий вовнутрь, допускается меньше. Выходы микросхемы должны быть способны перезарядить совокупную ёмкость дорожек, идущих по плате, а также ёмкости затворов. С ростом количества входов, подключаемых на выход микросхемы, растёт и ёмкость. Принято эмпирическое правило, что на один выход микросхемы должно подключаться до 10 входов. На высоких скоростях тяжело соблюсти данное правило и на частотах порядка 500 МГц соединяют один выход с одним входом.

Разработка устройства. Для повышения точности и достоверности определения нагрузочной способности микросхем, было разработано устройство, блок-схема которого приведена на рис. 2. Устройство содержит генератор прямоугольного напряжения 1, испытываемую микросхему 2, вольтметр 3, элементы нагрузки 4 - 1... 4 - k, коммутатор 5, элемент И 6, компаратор 7, счетчик импульсов 8, источник опорного напряжения 9. В устройстве последовательно соединены генератор прямоугольного напряжения 1, элемент И 6 и счетчик импульсов 8, а также источник опорного напряжения 9 и компаратор 7. Входная клемма испытываемой микросхемы 2 и управляющий вход коммутатора 5 объединены и также подключены к выходу генератора прямоугольного напряжения 1. Вход вольтметра 3 и сигнальный вход коммутатора 5 объединены и подключены к выходной клемме испытываемой микросхемы 2. Выход вольтметра 3 связан со вторым входом компаратора 7, выход которого подключен ко второму входу элемента И 6. Каждый из выходов коммутатора 5 подключен к входу одноименного элемента нагрузки 4 - 1 ... 4 - k. Устройство позволяет определять нагрузочную способность испытываемой микросхемы 2 по изменению высокого уровня (первый режим) и по изменению низкого уровня (второй режим) ее выходного сигнала.

Принцип работы устройства. В соответствии с первым режимом устройство работает следующим образом. Генератор прямоугольного напряжения 1 формирует первый импульс, который одновременно поступает на вход испытываемой микросхемы 2, управляющий вход коммутатора 5 и первый вход элемента И 6. На выходе испытываемой микросхемы 2 формируется импульс высокого уровня, который одновременно поступает на вход вольтметра 3 и сигнальный вход коммутатора 5. Последний выполнен на основе регистра сдвига и набора аналоговых ключей.

С приходом первого импульса на управляющий вход коммутатора 5 последний подключает свой сигнальный вход (выход испытываемой микросхемы 2) к входу первого элемента нагрузки 4 - 1. На выходе вольтметра 3 в течение периода выходного сигнала испытываемой микросхемы 2 устанавливается значение напряжения его высокого уровня.

Компаратор 7 сравнивает выходные напряжения вольтметра 3 и источника опорного напряжения 9. Последнее совпадает с минимально допустимым значением напряжения высокого уровня выходного сигнала испытываемой микросхемы 2.

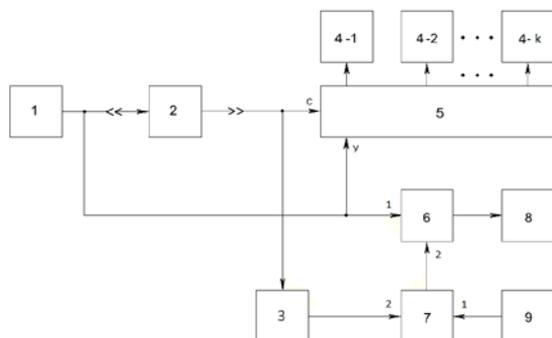


Рис. 2. Устройство для определения нагрузочной способности микросхем

В случае использования исправной испытываемой микросхемы 2, нагруженной по выходу элементом 4 - 1, выходное напряжение вольтметра 3 превышает напряжение источника опорного напряжения 9 и на выходе компаратора 7 формируется логическая «1». Она поступает на второй вход элемента И 6, разрешая прохождение с его первого входа на выход импульса высокого уровня. При этом счетчик импульсов 8 фиксирует поступление на свой вход первой логической «1». Это означает, что нагрузочная способность испытываемой микросхемы 2 в результате первого рабочего цикла ее определения составляет число не менее единицы.

В течение действия последующих выходных импульсов генератора прямоугольного напряжения 1 устройство в целом работает аналогично ранее описанному. Отличие состоит лишь в том, что с приходом очередного импульса на управляющий вход коммутатора 5 последний подключает свой сигнальный вход (выход испытываемой микросхемы 2) к входу одноименного элемента нагрузки из имеющихся 4 - 2 ... 4 - k. Каждый из них включает в себя свой ряд (от одного до нескольких десятков) одинаковых логических элементов, число входов которых, объединенных друг с другом общим входом элемента нагрузки, совпадает с его номером. При этом с каждым новым переключением коммутатора 5 значение напряжения высокого уровня выходного сигнала испытываемой микросхемы 2, в связи с уменьшением сопротивления нагрузки (и возрастанием её тока), уменьшается. До тех пор, пока это напряжение, измеряемое вольтметром 3, остается больше напряжения источника опорного напряжения 9 (в течение всех рабочих циклов), счетчик импульсов 8 фиксирует импульсы, производя тем самым запись числа (n), определяющего нагрузочную способность.

Для обеспечения второго режима работы устройства, позволяющего определять нагрузочную способность испытываемой микросхемы 2 по

изменению низкого уровня ее выходного сигнала, необходимо:

- первый вход компаратора 7 подключить к выходу вольтметра 3, а второй вход – к выходу источника опорного напряжения 9;

- значение выходного напряжения источника опорного напряжения 9 установить равным максимально допустимому значению напряжения низкого уровня выходного сигнала испытываемой микросхемы 2.

При этом с каждым новым переключением коммутатора 5 значение напряжения низкого уровня выходного сигнала испытываемой микросхемы 2 увеличивается. До тех пор, пока это напряжение, измеряемое вольтметром 3, остается меньше напряжения источника опорного напряжения 9 (в течение всех рабочих циклов), счетчик импульсов 8 фиксирует импульсы, производя тем самым определение нагрузочной способности -n (по второму режиму). В остальном работа всех блоков устройства в обоих режимах одинакова.

Выводы: преимуществами устройства по сравнению с известными являются: возможность определения нагрузочной способности микросхем в двух режимах работы не меняя состав его блоков, обеспечение автоматического режима работы и адаптивность к смене испытываемых микросхем 2 и элементов нагрузки 4 - 1 ... 4 - k.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тюлевин, С.В. Анализ эффективности прогнозных моделей параметров качества микросхем / С.В. Тюлевин, А.И. Архипов, М.Н. Пиганов, С.В. Елизаров // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2011. № 7(31). С. 58-63.
2. Шумских, И.Ю. Прогнозные математические модели качества печатных узлов космической аппаратуры / И.Ю. Шумских, С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 4(4) С. 1127-1133.
3. Пиганов, М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
4. Пиганов, М.Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств / М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. №1 (72). С. 174-180.
5. Тюлевин, С.В. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры / С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2008. № 1. С.92-96.
6. Андреева, В.В. Индивидуальное прогнозирование стабильности прецизионных тонкопленочных конденсаторов на основе алюмината неодима / В.В. Андреева, М.Н. Пиганов, В.Н. Рюк, Г.Ю. Скоморохов // Электронная техника. Сер. «Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания». 1980. Вып.4. С. 10-12.

7. Тюлевин, С.В. Выбор методов индивидуального прогнозирования показателей качества РЭС на основе экспертных оценок / С.В. Тюлевин, И.Н. Козлова // Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2009: Сборн. научн. тр. по матер. междуна. НПК 16-27.03.2009. Т.4. – Украина, Одесса: Черноморье, 2009. С. 25-28.
8. Андреева, В.В. Индивидуальное прогнозирование стабильности прецизионных тонкопленочных конденсаторов / В.В. Андреева, М.Н. Пиганов, Г.Ю. Скомоухов // Микроминиатюризация радиоэлектронных устройств: Межвуз. сб. – Рязань: РРТИ, 1980. Вып.3. С. 72-76.
9. Андреева, В.В. Индивидуальное прогнозирование экстраполяцией стабильности тонкопленочных резисторов / В.В. Андреева, М.Н. Пиганов, А.И. Беляков // Микроминиатюризация радиоэлектронных устройств: Межвуз. сб. – Рязань: РРТИ, 1981. Вып.4. С. 123-127.
10. Тюлевин, С.В. Методика обучающего эксперимента при индивидуальном прогнозировании показателей качества космических РЭС / С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Мат-лы всеросс. НТК 13-15 мая 2008. г. Самара. – Самара: Издательство СГАУ, 2008. С. 239-253.
11. Piganov, M.N. Individual prognosis of quality indicators of space equipment elements / M.N. Piganov, S.V. Tyulevin, E.S. Erantseva // The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM 2015): Proceeding XIII international conference. - Ukraine, Lviv, 2015. P. 367-371.
12. Фролкин В.Т. Импульсные и цифровые устройства. Учеб. пособие для вызов / В.Т. Фролкин, Л.Н. Попов. – М.: Радио и связь, 1992. 336 с.
13. Авторское свидетельство СССР № 836606, МПК G01R 31/28, опубл. 07.06.81. Бюл. № 21.
14. Аналоговый компьютер Healthkit EC-1 URL: <http://edthelen.org/comp-hist/vs-healthkit-ec-1-analog-computer.html> (дата обращения: 09.03.2016).
15. Конспект по курсу «Электроника и МП» - Цифровые и микропроцессорные устройства. Кумаев Ю.В. (глава 6.3) URL: <http://de.ifmo.ru/~book/election> (дата обращения: 09.03.2016).

THE DEVICE FOR DEFINITION OF THE INTEGRATED CIRCUITS LOGIC GAIN

© 2017 R.O. Mishanov, S.V. Tyulevin, G.P. Shopin, M.N. Piganov

Samara National Research University named after acad. S.P. Korolyov

The relevance of the logical elements and integrated circuits logic gain is substantiated. The device for definition of the integrated circuits logic gain is offered. The device contains a rectangular-pulse generator, an integrated circuit, a voltmeter, loading elements, a switch, AND gate, a comparator, a pulse meter and reference-voltage source.

Key words: *logic gain, integrated circuit, definition device*

Roman Mishanov, Post-graduate Student. E-mail: kipres@ssau.ru
 Sergey Tyulevin, Candidate of Technical Sciences, Associate
 Professor at the Department of Design and Technology of Electronic
 Systems and Devices
 Gennadiy Shopin, Candidate of Technical Sciences, Associate
 Professor at the Department of Design and Technology of Electronic
 Systems and Devices
 Mikhail Piganov, Doctor of technical Sciences, Professor at the
 Department of Design and Technology of Electronic Systems and
 Devices. E-mail: piganov@ssau.ru