

УДК 621.382-52

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛАСТИНЫ

Д.т.н. И. Ш. Невлюдов, к.т.н. Н.Г. Стародубцев, С.И. Теслюк, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*В настоящей статье описывается процесс построения модели установки автоматизированного контроля формообразования полупроводниковой пластины, приводятся состав и краткое описание модели, процесс ее построения, а также процедура компоновки модели. Также в статье рассмотрены процессы подготовки к моделированию и сам процесс моделирования.*

*У дійсній статті описується процес побудови моделі установки автоматизованого контролю формоутворення напівпровідникової пластини, приводяться склад і короткий опис моделі, процес її побудови, а також процедура компонування моделі. Також у статті розглянуті процеси підготовки до моделювання і сам процес моделювання.*

*Modelling of process of the automated control of processing of a semi-conductor plate. In present clause process of construction of model of installation of the automated control of processing of a semi-conductor plate is described, the structure and the brief description of model, process of its construction, and also procedure of configuration of model are resulted. Also in clause processes of preparation for modelling and process of modelling are considered.*

**Ключевые слова:** установка, контроль, полупроводниковые пластины, толщина, моделирование.

## Постановка проблемы

Электрические параметры полупроводниковых приборов и ИМС существенно зависят от степени совершенства поверхностного слоя, качества обработки и геометрической формы обработанных полупроводниковых пластин [1], так как эти несовершенства механической резки, шлифовки и полировки неблагоприятно сказываются на последующих технологических процессах: эпитаксии, фотолитографии, диффузии и т.д. Поэтому после проведения процессов механической обработки пластины подвергаются неоднократному контролю с целью установления соответствия требованиям, заданным в технической документации (ТД): сопроводительном паспорте, технологической или контрольной карте, на чертеже и т. д. [2].

Одним из важнейших параметров качества полупроводниковых пластин, по которому проводится контроль, является толщина пластины. Необходимо отметить, что контроль толщины полупроводниковых

пластин имеет огромное значение для всего последующего комплекса технологических операций изготовления полупроводникового прибора или микросхемы. Это, объясняется тем, что механическая обработка подложек является, по существу, первой из цикла операций всего процесса производства приборов и поэтому позволяет исправить отклонения параметров от нормы забракованных при контроле пластин. При проведении контроля пластины, имеющие несоответствие требуемому критерию годности, не попадают на последующие технологические операции, что приводит, как правило, к резкому снижению неисправимого брака и улучшению такого важного экономического параметра, как процент выхода годных изделий на этапе их изготовления.

Одним из направлений улучшения характеристик полупроводниковых приборов и систем является обеспечение прецизионной обработки торцевых поверхностей полупроводниковых пластин. Однако до настоящего времени выполнение технологического контроля толщины полупроводниковых пластин в процессе производства интегральных микросхем осложнялось ввиду отсутствия эффективных методик и автоматизированных средств. Операция контроля выполнялась, после извлечения пластины из обрабатывающего устройства и установки ее в измерительную аппаратуру, что приводило к низкой надежности и высокой трудоемкости технологического процесса формообразования торцевой поверхности пластин и влиянию человеческого фактора. Это не могло не влиять на качество изготовления интегральных микросхем.

## Постановка задачи

В работе предложен метод измерения толщины полупроводниковой пластины, основанный на предположении, что текущее расстояние между верхним и нижним шлифовальниками равно, с некоторым допуском, текущей толщине обрабатываемой пластины и в процессе обработки расстояние между верхним и нижним шлифовальниками изменяется синхронно-пропорционально изменению толщины пластины.

Для экономии временных и материальных ресурсов, перед аппаратной реализацией системы, необходимо создать модель, которая позволит:

- провести предварительные экспериментальные исследования основных положений предложенного метода контроля;

- проверить возможность аппаратной реализации установки для измерения толщины полупроводниковой пластины, созданной, на основе предложенного метода;
- провести проверку соответствия параметров качества спроектированной системы контроля параметрам, установленным для контрольно-измерительного оборудования.

**Основная часть**

Модель системы контроля, создана с помощью программы MATLAB Version 6.5.0. Release 13 [3-4]. Модель состоит из подсистем: датчика (D); усилителя (Amplifier); АЦП (Quantizer Encode); микропроцессора (MP); системы управления приводом (Management of drive). Структурная схема системы приведена на рисунке 1.

Модель предназначена для эмуляции работы автоматической системы контроля толщины полупроводниковой пластины.

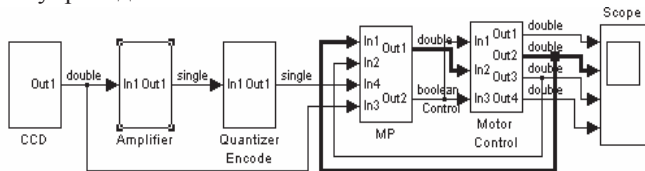


Рис. 1. Структурная схема модели

В качестве источника входного воздействия служит выходной сигнал датчика (емкостной датчик перемещения). Данный элемент системы моделируется тремя блоками: Chirp Signal (Simulink\Library Sources), Saturation, Dead Zone (Simulink\Library Discontinuities). При запуске модели на исполнение подсистема вырабатывает сигнал эмулирующий выходной сигнал дифференциатора. Сигнал с выхода блока запускает управляющий генератор тактовых импульсов Generator (блоки Constant (Simulink\Library Sources); Switch (Simulink\Library Signal Routing), использующийся для управления работой подсистем усилителя (Amplifier), микропроцессора (MP) и системы управления приводом (Management of drive). Структурная схема подсистемы датчика представлена на рисунке 2

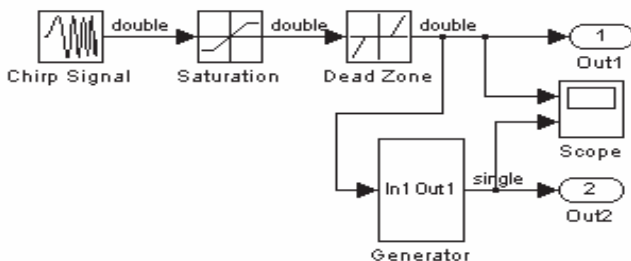


Рис. 2. Структурная схема подсистемы датчика.

Выходной сигнал подсистемы датчика поступает на вход подсистемы усилителя, которая моделирует работу самого усилителя, где производится его усиление

до заданного значения. Усилитель моделируется двумя блоками: Mux (Simulink\Library Signal Routing), и Fcn (Simulink\Library User-Defined Functions, рисунок 3

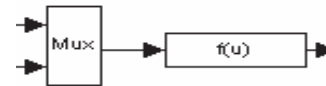


Рис. 3. Структура подсистемы усилителя.

Для повышения точности работы системы контроля модуль усиления должен обладать минимальной погрешностью обработки сигнала. Наиболее эффективным методом уменьшения такого вида погрешности является периодическая коррекция. Такая регулировка может быть осуществлена с помощью системы периодической коррекции напряжения смещения путем его изменения и введения соответствующего корректирующего напряжения, состоящей из блоков: Logical Operation (Simulink\Library Math Operations); Ground, Ramp и Constant (Simulink\Library Sources); Sum, Product, Sign и Relational Operator (Simulink\Library Math Operations); Switch (Simulink\Library Signal Routing).

Для управления работой системы периодической коррекции используется сигнал с управляющего генератора тактовых импульсов Generator

Система периодической коррекции изображена на рисунке 4.

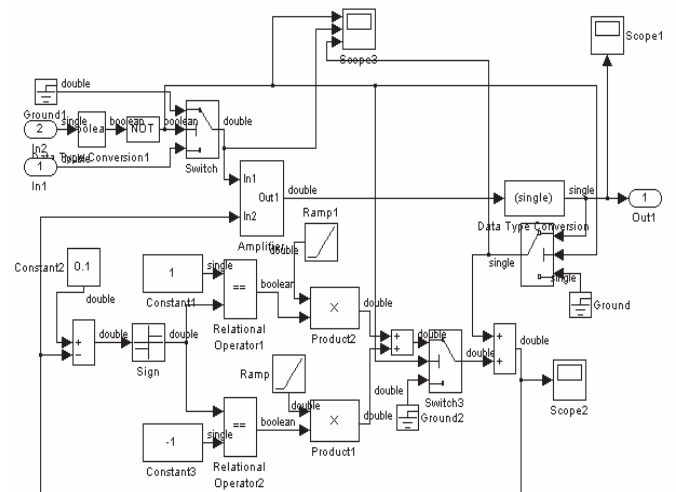


Рис. 4. Структура подсистемы периодической коррекции напряжения смещения

Усиленный сигнал с выхода усилителя подается на вход подсистемы АЦП, которая эмулирует работу аналого-цифрового преобразователя.

Аналого-цифровой преобразователь моделируется с использованием двух блоков: Zero-Order Hold (Simulink\Library Discrete) и Quantizer (Simulink\Library Discontinuities), рисунок 5.

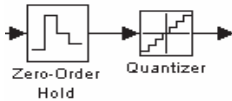


Рис. 5. Структура подсистемы АЦП.

С выхода АЦП квантованный по времени и уровню сигнал подается на вход модуля контроля толщины пластины (блоки: Constant (Simulink\Library Sources); Relational Operator и Logical Operation (Simulink\Library Math Operations); Switch (Simulink\Library ySignal Routing); Dead Zone (Simulink\Library Discontinuities); Counter (DSP Blockset\Library Signal Management\ Switches and Counters), который осуществляет сравнение полученного в результате измерения значения толщины пластины с заданным значением и в случае совпадения выдает команду на остановку двигателя, рис. 6. Сигнал остановки подается на вход блока Breaker (Sim Power System\Library Elements) подсистемы Management of drive.

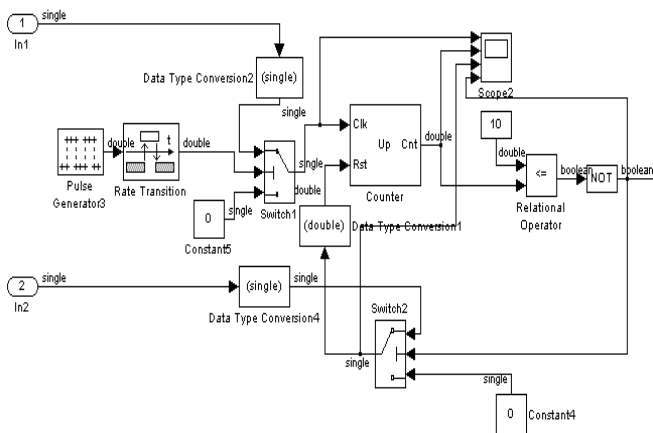


Рис. 6. Структура подсистемы толщины пластины.

Также в состав подсистемы микропроцессора входит автономный модуль автоматического регулирования скорости электропривода (блоки: Constant (Simulink\Library Sources); Proportional-Integral Speed Controller (mask); Current Regulator (mask); Unit Delay (Simulink\Library Discontinuities); Flux Calculation; Teta Calculation; ABC-DQ; DQ-ABC;  $i_{qs}^*$  Calculation;  $i_{ds}^*$  Calculation. Модуль автоматического регулирования скорости электропривода составляет электронную часть системы управления приводом. Он предназначен для выдачи заданного значения частоты вращения на ТПЧ (в виде управляющей последовательности импульсов) и для стабилизации заданной частоты вращения привода (коррекции ошибки, возникающей под действием внешних воздействий). Структурная схема модуля автоматического регулирования скорости электропривода представлена на рисунке 7.

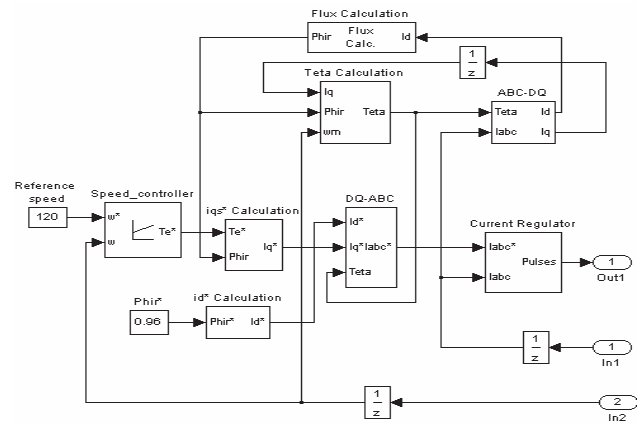


Рис. 7. Структура подсистемы регулирования скорости электропривода.

Управляющий сигнал (заданное значение частоты) с блока Current Regulator подсистемы MP подается на вход блока IGBT Inverter подсистемы Management of drive, которая является силовой частью системы управления приводом. Подсистема управления приводом (Management of drive) включает следующие блоки: Constant (Simulink\Library Sources); IGBT Inverter (Sim Power System\Library Power Electronics); Induction Motor (Sim Power System\Library Machines); Demux Machine measurements (mask); Voltage Measurement (Sim Power System\Library Measurements); Breaker (Sim Power System\Library Elements); DC Voltage Source (Sim Power System\Library Electrical Sources); Bus Bar (Sim Power System\Connectors); блок Dump (рисунок 8).

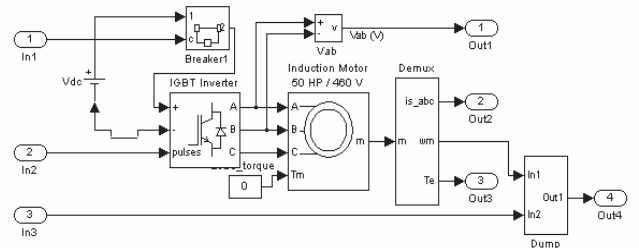


Рис. 8. Структурная схема подсистемы управления приводом (Management of drive).

Подсистема предназначена для питания двигателя напряжением заданной частоты и амплитуды. Подсистема обеспечивает работу двигателя до тех пор пока с выхода модуля контроля толщины пластины подсистемы MP не придет команда на выключение двигателя. По приходе этой команды блок Breaker отключает привод от питания, процесс обработки завершается.

С помощью окна измерения параметров асинхронного двигателя снимаем данные о параметрах асинхронного двигателя, характеризующих его работу и регистрируем их с помощью виртуальных измерительных приборов.

Перед выполнением расчетов необходимо предварительно задать параметры моделирования. Задание параметров расчета выполняется в панели управления меню Simulation/Parameters (рисунок 9).

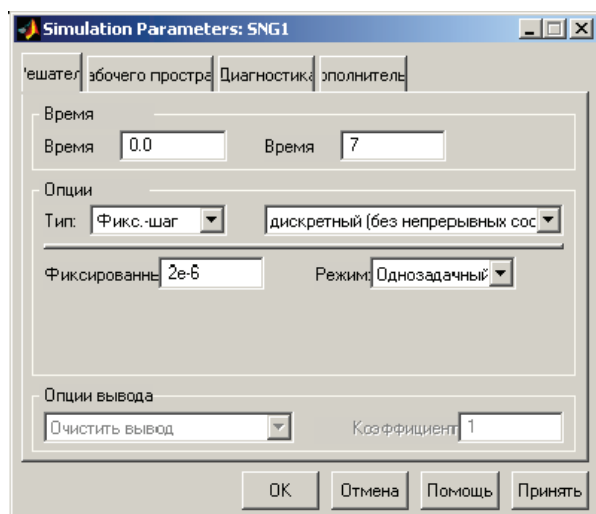


Рис. 9. Панель управления вкладки Solver (Расчет).

Окно настройки параметров расчета имеет 4 вкладки:

- Solver (Расчет) – Установка параметров расчета модели.
- Workspace I/O (Ввод/вывод данных в рабочую область) – Установка параметров обмена данными с рабочей областью MATLAB.
- Diagnostics (Диагностика) – Выбор параметров диагностического режима.
- Advanced (Дополнительно) – Установка дополнительных параметров.

Для контроля за процессом моделирования системы используется графический интерфейс пользователя (GUI) реализуемый блоком Powergui (Sim Power System). Интерфейс блока Powergui представлен на рисунке 10.

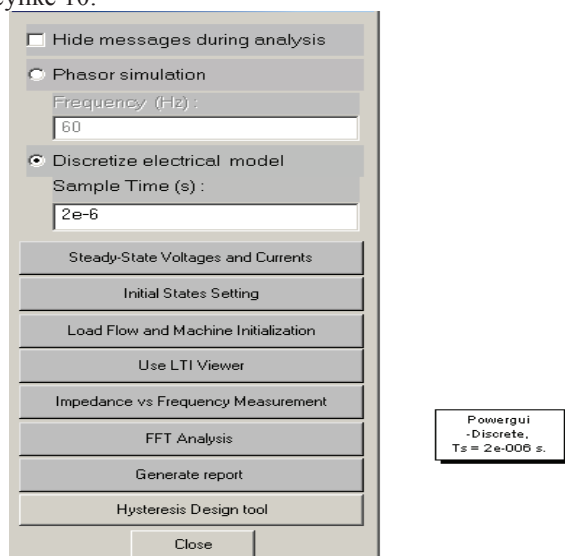




Рис. 10. Интерфейс блока Powergui.

Устанавливаем входные параметры – заданную толщину полупроводниковой пластины (блок Constant подсистемы МР), закон изменения скорости вращения ротора (блок Timer подсистемы МР) и запускаем модель на исполнение. Ход процесса моделирования контролируется с помощью блока Powergui и виртуальных осциллографов (блок Score).

Запуск расчета выполняется с помощью выбора пункта меню Simulation/Start. или инструмента  на панели инструментов. Процесс расчета можно завершить досрочно, выбрав пункт меню Simulation/Stop или инструмент . Расчет также можно остановить (Simulation/Pause) и затем продолжить (Simulation/Continue).

### Выводы

Моделирование работы системы показало, что:

- в процессе моделирования все подсистемы работают стабильно, заданная программа выполняется в полном объеме.
- подсистема контроля толщины полупроводниковой пластины стабильно осуществляет контроль заданного параметра;
- выработка команды на остановку процесса обработки осуществляется только по выполнении контрольного условия (равенстве толщины обрабатываемой пластины толщине заданной в начальном условии);
- система с заданной точностью и стабильностью поддерживает закон изменения скорости;
- время реакции системы на управляющее воздействие по изменению скорости составляет 1.4 с.

Таким образом все это позволяет сделать вывод о том, что предложенная модель установки для измерения толщины полупроводниковой пластины отвечает требованиям предъявляемым к контрольно-измерительному оборудованию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Курносов А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / А.И. Курносов, В.В. Юдин; 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 368 с., ил.
2. Дубовой Н.Д. Измерения и контроль в микроэлектронике / Н.Д. Дубовой, В.И. Осокин, А.С. Очков и др.; Под ред. А.А. Сазонова. – М.: Высш. шк., 1984. – 367 с., ил.
3. Дьяконов В. Simulinc 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002.– 528 с.: ил.
4. Дьяконов В., Круглов В. Анализ, моделирование и идентификация систем. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002.– 448 с.: ил.