

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ВВОДА, ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ**

УДК 681.3.04.05

**С. Т. ВАСЬКОВ, Л. В. ВЫДРИН, А. Н. КАСПЕРОВИЧ,
Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, А. М. ОСТАПЕНКО, И. М. САХАРОВ**
(Новосибирск)

**ПРЕЦИЗИОННАЯ СИСТЕМА
ВВОДА-ВЫВОДА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЭВМ**

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам обработки оптических изображений. Одно из неперемных условий выполнения такой обработки с помощью ЭВМ — наличие надежных устройств ввода-вывода изображений. Кодирование и воспроизведение оптической информации необходимы при распознавании изображений с помощью ЭВМ, при передаче оптической информации по каналам связи, при применении ЭВМ для улучшения качества изображений и т. д.

На решение задач ввода-вывода в ЭВМ полутонновых оптических изображений с большим разрешением в последние годы были направлены усилия инженеров и исследователей различных стран. Были созданы весьма качественные устройства подобного назначения*. Однако особенности конструирования таких устройств еще мало разработаны, а имеющиеся сведения для их практической реализации недостаточны. В связи с этим в ИАиЭ СО АН СССР была поставлена задача создания прецизионной системы ввода-вывода изображений и ее элементов с использованием отечественных компонентов.

В основу технических требований к этой системе были положены высокая точность, быстродействие и универсальность, что определило тип системы — электромеханический с вращающимся барабаном. Устройства подобного типа хотя и уступают электронным устройствам на основе ЭЛТ в быстродействии (времени считывания или построения одного элемента изображения) и гибкости управления, но имеют более высокое пространственное разрешение. В системах барабанного типа минимальный размер светового пятна удается получить порядка 10 мкм. Кроме того, они существенно превосходят устройства на основе ЭЛТ по точности позиционирования, а также по диапазону и точности измерения и воспроизведения оптической плотности.

Система ввода-вывода, функциональная схема которой приведена на рис. 1, содержит два барабана, на которых укрепляются фотопленка со считываемым и воспроизводимым изображениями, вращаемых синхронным двигателем; датчик угла; считывающие и воспроизводящие головки, передвигаемые шаговым двигателем, и электронные узлы каналов считывания и записи, а также устройство управления и связи с ЭВМ.

* Например, устройства типа "Photomation" фирмы "Optronics" (США).

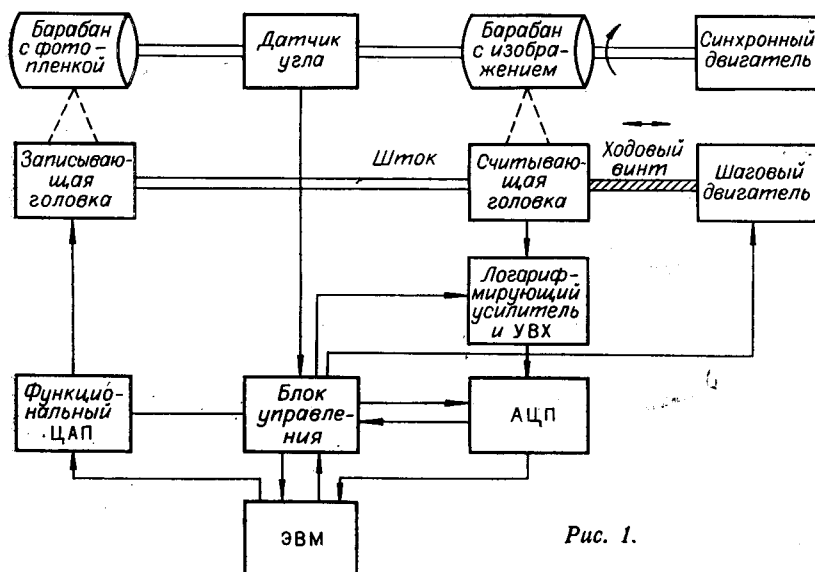


Рис. 1.

Максимальный размер считываемых и воспроизводимых изображений равен $13 \times 18 \text{ см}^2$. На барабанах могут устанавливаться переходные мостики, позволяющие укреплять на них фотопленку с изображением меньших форматов. Значение шага квантования по перемещению может устанавливаться в 25, 50 и 100 мкм.

Сканирование по координате X (по кадру) производится шаговым двигателем с помощью точной пары: микровинт — гайка. Вращением барабанов осуществляется сканирование изображений по координате Y (по строке). Скорость вращения барабанов изменяется дискретно и составляет 1,2 и 4 об/с.

Одна из основных проблем при создании системы ввода-вывода — обеспечение точности позиционирования. Погрешности позиционирования приводят к разным ошибкам в плотности изображения при его считывании и воспроизведении. Так, при воспроизведении вследствие наложения элементов изображения или пробелов между ними плотность воспроизводимого изображения оказывается искаженной. Возникают теневые муаровые полосы, которые ввиду их протяженности могут хорошо различаться глазом. Отметим, что для ослабления этого эффекта нужно вводить случайные погрешности позиционирования или использовать шестиугольный способ расположения элементов изображения.

Основная причина погрешности позиционирования по координате X — погрешность шага пары микровинт — гайка. Для хорошего качества воспроизводимого изображения значение этой погрешности не должно превышать 1—2 мкм (независимо от размера записывающей апертуры, когда она намного меньше шага микровинта). Другая составляющая погрешности позиционирования по этой координате — погрешность шагового двигателя. Как известно, каждый шаг двигателя отрабатывается со случайной погрешностью. Поэтому шаг микровинта выбран таким, чтобы перемещение, соответствующее одному шагу квантования, осуществлялось за несколько (n) шагов двигателя, поскольку при этом случайная погрешность отработки будет в \sqrt{n} раз меньшей. Исходя из быстродействия шагового двигателя (ШД-5) и технологических возможностей изготовления микровинта, выбрано $n=6$. В построенном макете системы общая погрешность позиционирования по координате X составляет ± 2 мкм.

Позиционирование по координате Y (по окружности барабана) осуществляется с помощью датчика угла, который генерирует импульсы, синхронизирующие работу системы при повороте барабана на заданный угол. Кроме того, при каждом обороте барабана датчиком угла вырабатывается импульс «Начало отсчета», который указывает момент прохождения барабаном линии, принятой за начало отсчета.

В качестве прецизионного датчика угла был использован поворотный индуктосин [1] с числом полюсов обмоток, равным 90. Параметры индуктосина выбраны так, что он генерирует импульсы при повороте на $1,5^\circ$. Это соответствует минимальному шагу квантования координаты Y , равному 25 мкм. Импульсы, соответствующие шагу квантования 50 и 100 мкм, получают путем деления соответственно на 2 и 4. Достигнутая с помощью индуктосина среднеквадратическая погрешность позиционирования составляла ± 2 мкм. Следует отметить, что для датчика угла типа «поворотный индуктосин» характерна периодичность погрешности [1]. Для повышения точности позиционирования необходимо увеличивать число полюсов обмоток индуктосина и существенно повысить требования к качеству конструкции и точности элементов индуктосина.

Был также разработан и изготовлен оптический датчик угла с радиальным растром, позволивший получить точность позиционирования по координате $Y \pm 1$ мкм. Следует отметить, что электронная часть оптического датчика существенно проще, чем у датчика типа «поворотный индуктосин». Кроме того, оптический датчик позволяет снизить требования к стабильности скорости вращения барабанов.

Качество системы ввода-вывода изображений в значительной степени определяется совершенством ее конструкции, главным образом узлов, обеспечивающих точность перемещения носителя изображения относительно считывающей и записывающей головок. Основными причинами, вызывающими погрешность, являются радиальные и осевые биения барабанов, люфты в направляющих для перемещения головок и люфты в элементах передачи движения. Для их устранения в описываемой системе использованы специальные подшипники повышенной точности для вращения барабанов и направляющие с трением качения для поступательного движения головок. Во всех направляющих применено безлюфтовое соединение, которое достигается за счет введения в конструкцию упругих компенсаторов. Эти компенсаторы, кроме выборки люфтов, обеспечивают постоянную нагрузку на подшипники, близкую к нормальной. В качестве элементов передач движения (для вращения барабанов и ходового винта) использованы безлюфтовые муфты.

Значение шага квантования по координате X задается оператором через ЭВМ. Обработка заданного шага контролируется блоком управления и ЭВМ. Минимальный шаг квантования координаты Y изменяется аппаратно пропорционально изменению скорости сканирования (скорости вращения барабана). Этим достигается независимость скорости ввода-вывода информации от изменения скорости сканирования. Во многих практических случаях это важно. При скорости вращения барабана 4 об/с минимальный шаг квантования равен 100 мкм, при скорости 2 и 1 об/с — соответственно 50 и 25 мкм. Предусмотрена возможность установки шага квантования, равного 25, 50 и 100 мкм, независимо от скорости сканирования.

Оптические системы каналов считывания и записи обеспечивают получение апертуры квадратной формы 25×25 , 50×50 , 100×100 мкм. Размер апертуры согласован с шагом квантования по X и Y .

Считывающая головка содержит источник света, оптическую систему с диафрагмами и приемник света — фотоэлектронный умножитель. Осветитель формирует в плоскости носителя световое пятно квадратной формы. Для уменьшения влияния рассеянного света на точность измерения оптической плотности желательным размером этого пятна приблизить

к размеру считывающей апертуры. В связи с этим размер пятна был выбран превосходящим размер считывающей апертуры всего на 50%.

Считывающая апертура формируется с помощью длиннофокусного объектива и трех сменных диафрагм, которые так же, как и диафрагмы осветителя, закреплены на турели. Глубина резкости считывающей оптики выбрана так, чтобы свести к минимуму влияние на разрешающую способность и точность измерения оптической плотности изменений положения носителя изображения относительно считывающей оптики, вызванных, например, биением барабана, изменением толщины носителя с исследуемым изображением и т. д. Применение апертурных диафрагм в оптической системе приемника света позволяет выбрать апертурный угол приемной оптики так, чтобы измеренная оптическая плотность элемента изображения была близка к локальной оптической плотности и, следовательно, мало зависела от типа носителя изображения (величины и формы зерен, основы и т. д.) [2, 3]. Кроме того, диафрагмирование позволяет существенно снизить требования к светозащите канала считывания изображений.

Код оптической плотности при считывании определяется выражением

$$N_D = \frac{1}{k} \lg \frac{I_0}{I_x}$$

где k — цена кванта; I_0 — ток фотоумножителя при прохождении головкой калибровочной щели; I_x — ток фотоумножителя, пропорциональный пропусканию элемента изображения.

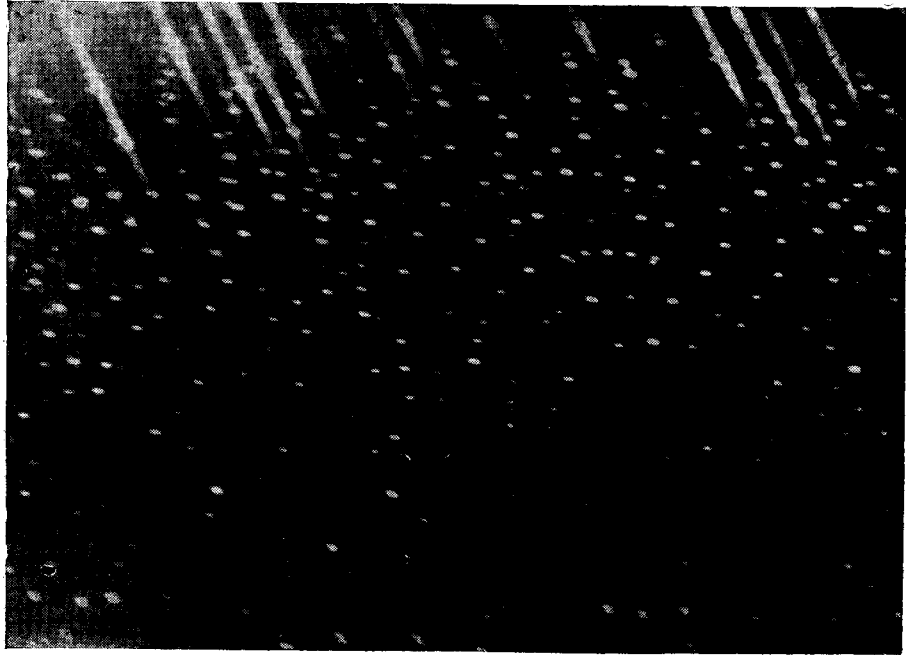
Логарифм отношения вычисляется в системе аппаратно в аналоговом виде с помощью логарифмического усилителя. Динамический диапазон усилителя составляет 60 дБ. Перед сканированием каждой строки производится калибровка: на конденсаторе запоминается сигнал, пропорциональный логарифму светового потока ($\lg I_0$), прошедшего через калибровочную щель. Затем из него вычитается сигнал, пропорциональный логарифму пропускания ($\lg I_x$). При этом изменения коэффициента усиления ФЭУ, нестабильность источника света и т. д. слабо влияют на точность измерения оптической плотности.

Сигнал, пропорциональный плотности элемента изображения, фиксируется по команде датчика угла с помощью устройства выборки и хранения сигнала (УВХ). Этот сигнал кодируется 8-разрядным аналогоцифровым преобразователем, и результат преобразования, пропорциональный оптической плотности исследуемого элемента изображения, по команде с блока управления переписывается в ЭВМ.

Канал считывания имеет два диапазона измерения от 0 до 3,0 и от 0 до 2,0 единиц оптической плотности. Приведенная погрешность измерения оптической плотности по результатам экспериментов составила $\pm 0,5\%$.

Канал записи изображений содержит источник света на светодиоде, проекционную оптику с диафрагмами, формирующими записывающую апертуру, и функциональный цифроаналоговый преобразователь. Подробно канал записи описан в работе [4].

Значение экспозиции, необходимое для записи элемента изображения, изменяется путем изменения светового потока, излучаемого светодиодом. Время экспозиции постоянно и составляет 5 мкс (за это время элемент изображения сдвигается на 10%). Заметим, что выбор режима светодиода (по току) должен осуществляться так, чтобы при его работе не наблюдалось явление «утомляемости» — уменьшения светового потока во времени при подаче одинаковых импульсов тока. Формирование тока, пропорционального коду плотности элемента воспроизводимого



Puc. 2.



Puc. 3.

изображения, осуществляется 8-разрядным функциональным цифроаналоговым преобразователем, позволяющим реализовать зависимость

$$H = D^*(N_D),$$

где H — экспозиция, а $D^*(N_D)$ — функция, обратная характеристической функции фотопленки, используемой для построения изображения.

Характеристика функционального преобразователя выбрана так [4], что воспроизводимая при записи на аэрофотопленку изопанхром типа 16-800 и типа 17 оптическая плотность линейно изменяется от кода. Характеристики этих пленок (светочувствительность, спектральная чувствительность, разрешающая способность и т. д.) хорошо согласованы с характеристиками канала записи и источника света. При необходимости вид функциональной зависимости может быть выбран другим, поскольку наличие функционального цифроаналогового преобразователя не исключает возможности коррекции этой зависимости с помощью ЭВМ. Этим достигается большая универсальность канала и вместе с тем удобство и простота работы при записи изображений на фотоматериал, указанный выше.

Канал записи изображения позволяет воспроизвести на фотопленку названных выше типов (без коррекции с помощью ЭВМ характеристики «код — свет» канала записи) не менее 64 градаций в диапазоне от 0 до 2,3 единиц оптической плотности.

Управление и синхронизация работы всех узлов системы ввода-вывода изображения и ее связь с ЭВМ осуществляются блоком управления. Блок управления выдает разрешение на исполнение команд ЭВМ, осуществляет контроль сбойных и ошибочных ситуаций, определяет начало зоны (по координате X и Y), данные из которой необходимо ввести или вывести из ЭВМ на фотопленку. Размер и форма зоны задаются оператором.

Универсальность системы ввода-вывода достигается гибкостью управления процессом считывания и записи: возможностью изменять

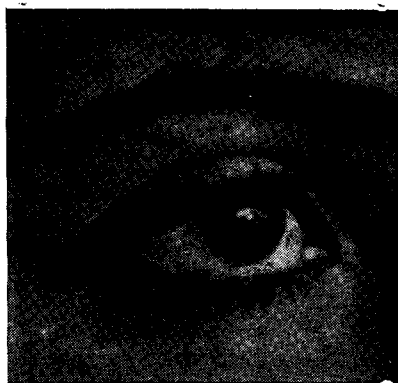


Рис. 4.

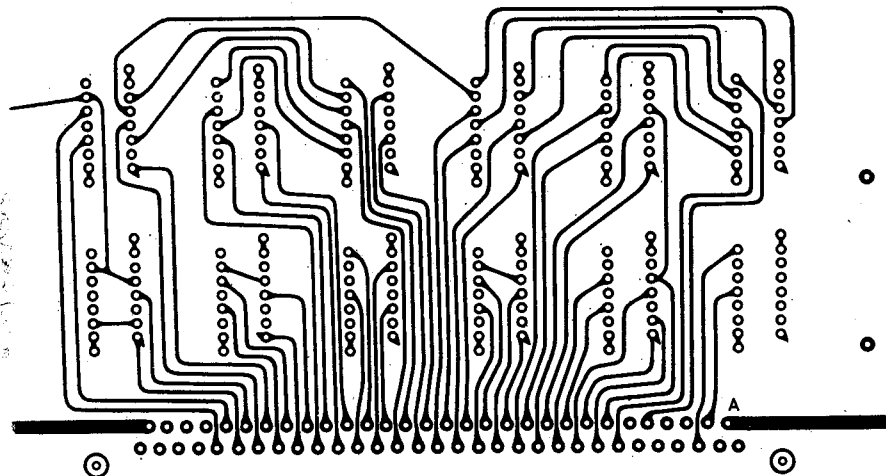


Рис. 5.

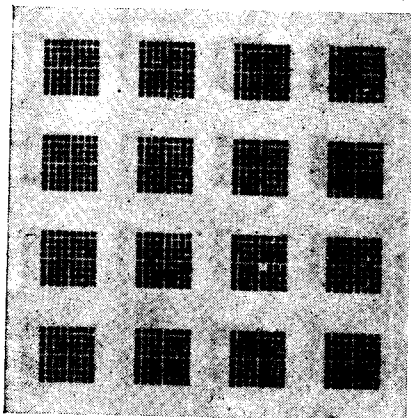


Рис. 6.

закон сканирования и шаг квантования координат, выбирать и вводить в ЭВМ (выводить из ЭВМ и записывать на фотопленку) заданный участок изображения, преобразовывать диапазон оптической плотности изображения и т. д.

Гибкость управления процессом считывания и записи позволяет реализовать как прямоугольный (обычно применяемый в устройствах ввода-вывода изображений), так и более сложный — шестиугольный способ расположения отсчетов на плоскости изображения. Для шагов квантования 25, 50 и 100 мкм аппаратно организован прямоугольный способ дискретизации. Задачи нелинейной фильтрации, как изве-

стно [5], легче решаются при шестиугольном способе дискретизации. Кроме того, этот способ позволяет уменьшить по сравнению с прямоугольным число отсчетов на единицу площади [6] и обеспечивает более высокое качество восстановленного изображения при той же плотности отсчетов. Шестиугольный способ дискретизации может быть организован аппаратно для шагов квантования 50 и 100 мкм, а для шага квантования более 100 мкм — программно.

В память ЭВМ записывается только код плотности элементов изображения. Адрес ячейки соответствует координате элемента изображения. Принцип организации программного обеспечения описан в работе [7]. Примеры применения системы показаны на рисунках, приведенных ниже.

На рис. 2 представлено исходное изображение. Изображение, восстановленное после обработки с помощью ЭВМ, показано на рис. 3.

На рис. 4 показан увеличенный в 6 раз фрагмент восстановленного изображения (сложные полутоновые изображения, более полно показывающие возможности системы, здесь не приводятся, так как средствами типографской печати нельзя хорошо передать изображения высокого качества).

Примеры изготовления фотонегатива печатной платы и транспаранта для голографического запоминающего устройства показаны соответственно на рис. 5 и 6. Увеличенный фрагмент печатной платы (записывающая апертура и шаг квантования координат 100 мкм) и поле изображений записывающей апертуры 25 мкм (через шаг, равный размеру апертуры) приведены соответственно на рис. 7 и 8.

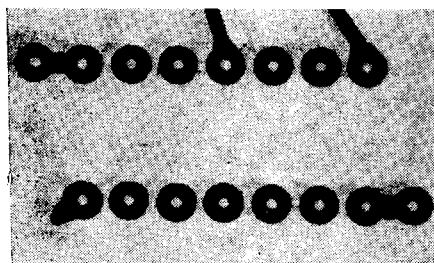


Рис. 7.

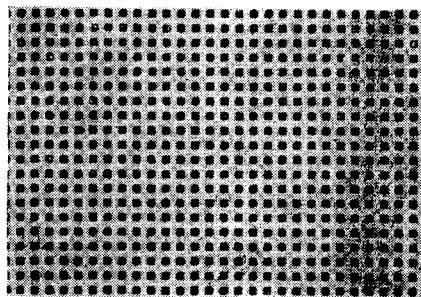


Рис. 8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. А. Бычатин, И. Г. Гольдман. Поворотный индуктосин. Л., «Энергия», 1965.
2. Фотоэлектрические преобразователи информации. Под ред. Л. Н. Преснухина. М., «Машиностроение», 1974.
3. К. Миз, Т. Джеймс. Теория фотографического процесса. Пер. с англ. ред. А. Л. Картужанского и В. Н. Синцова. Л., «Химия», 1972.
4. С. Т. Васильков, А. Н. Касперович, И. М. Сахаров, Ю. В. Шалагинов. Функциональное преобразование код—свет в задачах вывода изображений из ЭВМ на фотоматериал.— «Автометрия», 1976, № 3, с. 41—46.
5. Л. П. Ярославский. Устройство ввода-вывода изображений для цифровых вычислительных машин. М., «Энергия», 1968.
6. Н. К. Игнатов. Оптимальная дискретизация двумерных сообщений.— «Изв. высш. учеб. заведений. Радиотехника», 1961, № 6, с. 684—691.
7. А. М. Остапенко, Э. А. Талныкин, И. С. Яковенко. ФОТ—диалоговая система обработки данных.— «Автометрия», 1976, № 1, с. 72—79.

Поступила в редакцию 25 октября 1975 г.

УДК 681.325 : 621.375.826

С. П. БЕРЕСТНЕВ, И. Н. КОМПАНЕЦ, Г. Ш. МЦКЕРАДЗЕ

(Москва)

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО С ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТОВ

Предложено несколько вариантов создания оптоэлектронных арифметических устройств (ОЭАУ) [1—3]. В предыдущей работе [4] было описано ОЭАУ на управляемых транспарантах, в котором оптически был реализован логический сумматор. Возможности метода оптической обработки информации в таком ОЭАУ полностью не были использованы, поскольку оптически осуществлялась только дизъюнкция (+), а конъюнкция (·) выполнялась с помощью обычного электронного дешифратора, содержащего большое количество полупроводниковых диодов. Это явилось основным недостатком схемы с параллельным расположением электрически управляемых транспарантов (ЭУТ) в ОЭАУ.

В данной работе описывается оптоэлектронное арифметическое устройство, в котором оптически реализованы дешифратор и логический сумматор, составляющие вместе арифметический сумматор. Работа представляет собой экспериментальную проверку работоспособности другого варианта ОЭАУ, в котором реализуется схема последовательно-параллельного расположения ЭУТ. Как и дизъюнкция, конъюнкция осуществляется оптически, благодаря последовательному просвечиванию световых клапанов одним и тем же лучом. Дизъюнкция выполняется путем фокусировки выходных сигналов на один и тот же фотодиод. Таким образом, заданная арифметическая операция может выполняться за один такт.

Данное устройство производило операцию сложения над двухрядными числами, записанными в двоичном коде: $A = a_1 a_2$ и $B = b_1 b_2$. При этом результат $\Sigma = \sigma_0 \sigma_1 \sigma_2$ формировался по формулам [1]:

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= a_1 b_1 + a_1 a_2 b_2 + b_1 a_2 b_2; \\ \sigma_1 &= a_1 b_1 a_2 b_2 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 a_2 b_2 + a_1 \bar{b}_1 \bar{a}_2 + \bar{a}_1 b_1 \bar{a}_2 + a_1 \bar{b}_1 \bar{b}_2 + \bar{a}_1 b_1 \bar{b}_2; \\ \sigma_2 &= a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_2 b_2.\end{aligned}$$