

1.8. СХЕМОТЕХНИКА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ НА ИНЖЕКЦИОННЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Цель лекции: изучение основ схемотехники элементной базы приборостроения на инжекционных транзисторах.

1.8.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Появление элементов интегральной инжекционной логики было связано с тем, что уже в начале 70-х годов прошедшего века приборостроению были необходимы микросхемы, содержащие на одном кристалле как аналоговую, так и цифровую части. Однако в то время технологического процесса, который бы позволил реализовать все это на одном кристалле, не существовало. Реализация цифровой части схемы на логических элементах ТТЛ требовало слишком большой площади кристалла. Да и потребляемая ими мощность была достаточно велика, поэтому возникали проблемы с отводом тепла от кристалла ИМС.

Появление элементов интегральной инжекционной логики (И²Л) решило эту проблему. Их формирование достаточно хорошо вписывалось в планарно-эпитаксиальную технологию производства ИМС, по которой в то время изготовлялась подавляющая часть аналоговых схем.

Достоинства схемотехники элементов интегральной инжекционной логики состоит в полном отсутствии в ней резисторов, которые на кристалле микросхемы занимают большую площадь, и малой потребляемой мощности. Средний ток через инжекционный транзистор имеет величину порядка нескольких микроампер.

1.8.2. ИНЖЕКЦИОННЫЙ ТРАНЗИСТОР

На рис. 1.38 приведена принципиальная схема инжекционного транзистора. Как видно из рисунка, он представляет собой комбинацию латерального $p-n-p$ - и вертикального $n-p-n$ -транзисторов.

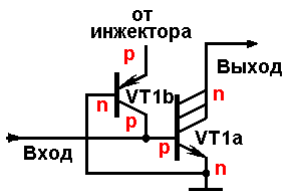


Рис. 1.38. Принципиальная схема инжекционного транзистора

На рис. 1.39 приведены вертикальный профиль и вариант топологической реализации инжекционного транзистора.

На рис. 1.40 показаны уровни логических сигналов в ЛЭ интегральной инжекционной логики.

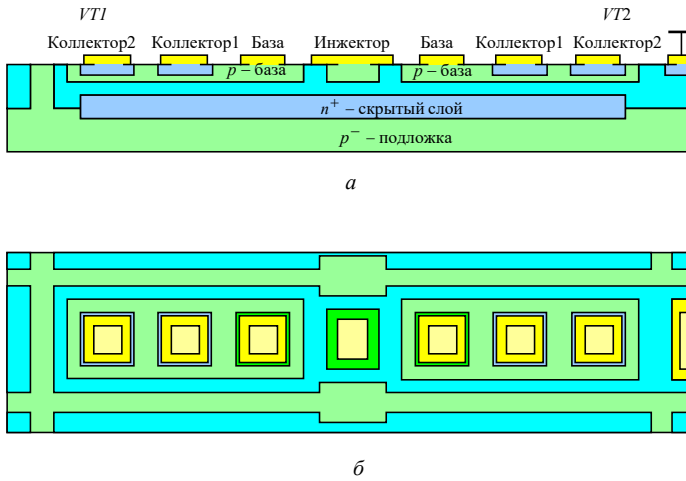


Рис. 1.39. Инжекционный транзистор:
а – вертикальный профиль; б – топология

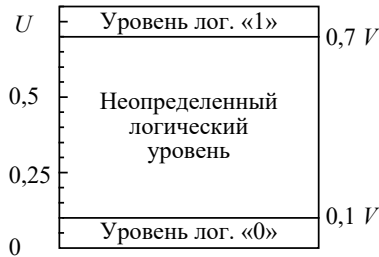


Рис. 1.40. Шкала уровней логических сигналов в ЛЭ И²Л

Как видно из рисунка, размах логического сигнала в ЛЭ И²Л составляет величину $\approx 0,6$ В. Примерно таким же является и общий запас помехоустойчивости схем И²Л.

На принципиальных электрических схемах, содержащих инжекционные транзисторы, *p-n-p*-транзистор принято не показывать. Однако его наличие всегда подразумевается. Более того, при таком соглашении на принципиальной схеме сразу можно отличить инжекционный транзистор от биполярного (хотя обозначения у них одинаковы) по тому признаку, что коллектор предыдущего инжекционного транзистора соединен с базой последующего. В случае биполярных транзисторов такая конструкция не работоспособна.

На рис. 1.41 показана схематическая реализация основных логических функций на элементах интегральной инжекционной логики.

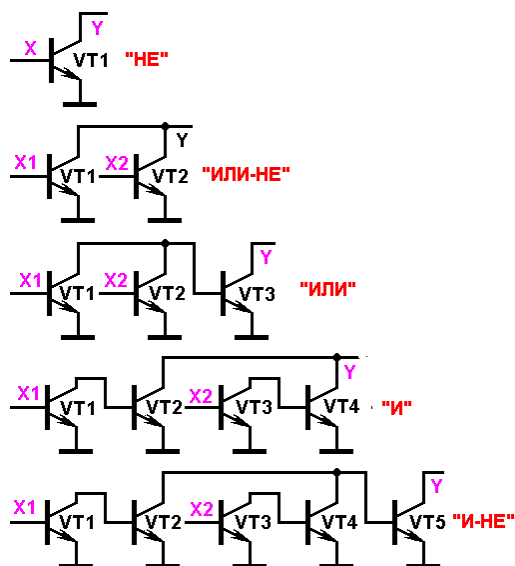


Рис. 1.41. Базовые логические схемы на инжекционных транзисторах

Как видно из представленного рисунка, для их реализации требуется минимум транзисторов, причем интересно отметить, что каждая из основных логических функций требует различного числа инжекционных транзисторов. В этом случае работает так называемый «принцип добавления одного транзистора», заключающийся в том, что в случае инжекционной логики добавление транзистора меняет логическую функцию схемы по цепочке: «НЕ» – «ИЛИ–НЕ» – «ИЛИ» – «И» – «И–НЕ».

1.8.3. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЛОГИКИ В СХЕМОТЕХНИКЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

В схемотехнике цифровых устройств И²Л наиболее часто применяется при построении двух типов логических схем – дешифратора и счетного триггера (*T*-триггера).

Дешифратор на инжекционных транзисторах

Дешифратором называется цифровое устройство, преобразующее входную кодовую комбинацию в уровни выходного сигнала на выходах этой схемы. В простейшем случае можно построить дешифратор, у которого в зависимости от кодовой комбинации на его входах только на одном из выходов может быть уровень сигнала (высокий или низкий), отличающийся от

остальных. Таблица истинности работы такого дешифратора приведена ниже (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Таблица истинности дешифратора 1 из 8

x_3	x_2	x_1	y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

На рис. 1.42 приведена принципиальная схема такого дешифратора, реализованная на инжекционных транзисторах. Отметим, что для реализации трехразрядного дешифратора 1 из 8 требуется всего 6 инжекционных транзисторов. И занимают они минимум площади кристалла, причем, как видно из рис. 1.43, разводка устройства выполнена одним слоем металлизации.

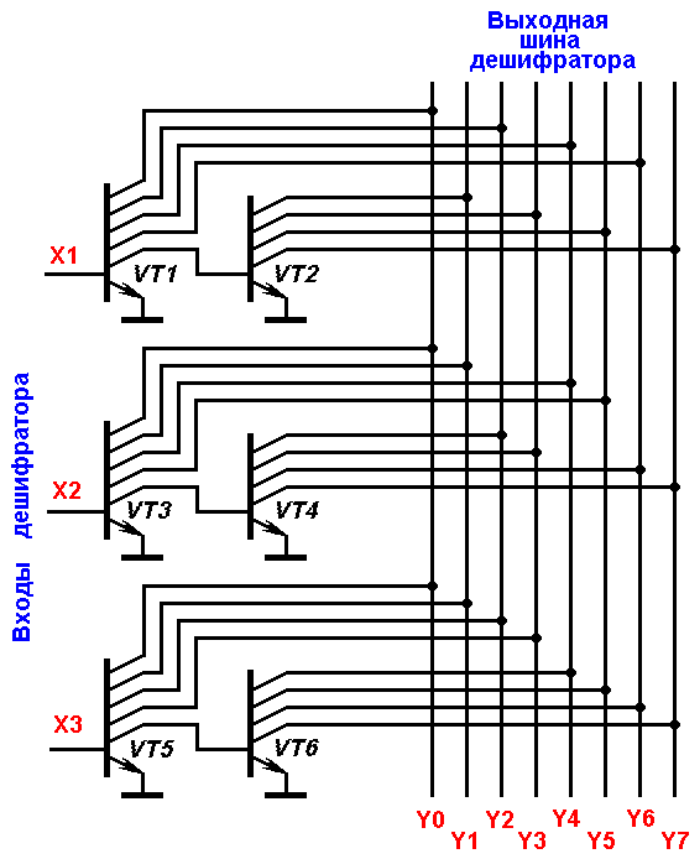


Рис. 1.42. Принципиальная схема трёхразрядного дешифратора на элементах интегральной инжекционной логики

В случае реализации этого устройства на элементах ТТЛ или другого типа логики схмотехнические затраты будут существенно большими.

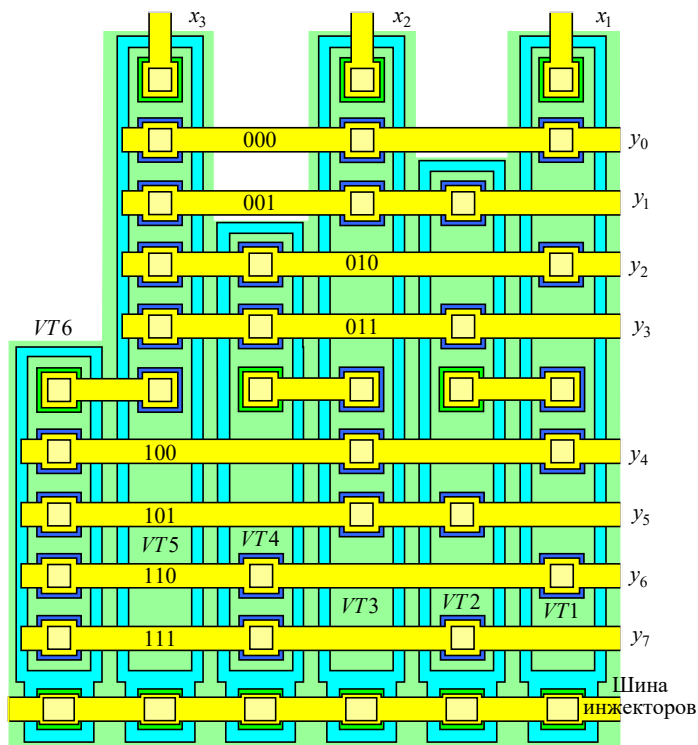


Рис. 1.43. Вариант топологической реализации дешифратора на инжекционных транзисторах

Счётный T -триггер

Триггер (*trigger* – курок) – бесконтактное электронное устройство с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Триггер способен под воздействием внешнего управляющего сигнала переходить скачком из одного устойчивого состояния в другое. Устойчивое состояние равновесия – такой режим работы схемы, при котором токи и напряжения в любом её элементе постоянны во времени.

На рис. 1.44 приведена принципиальная электрическая схема счетного T -триггера с входом принудительного сброса. Схема реализована на 8 инжекционных многоколлекторных транзисторах. Основу схемы составляют три RS -триггера (первый – транзисторы $VT1$ и $VT2$, второй – транзисторы $VT3$ и $VT4$, третий (выходной) – транзисторы $VT5$ и $VT6$).

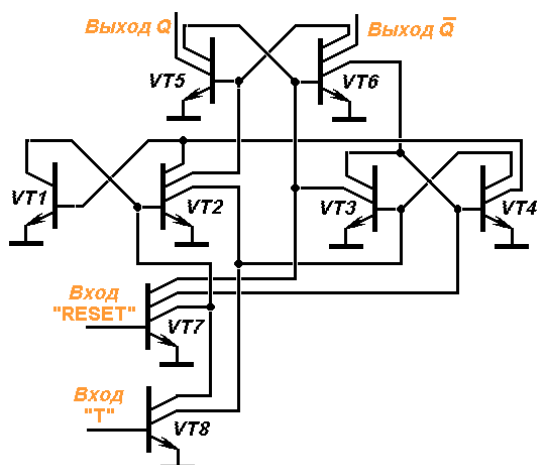


Рис. 1.44. Принципиальная схема счётного T -триггера, реализованного на инжекционных транзисторах

Поступление сигнала $T = 1$ на вход триггера приводит к переключению двухступенчатого RS -триггера в состояние, противоположное ранее имевшемуся. Так как триггер двухступенчатый, сигнал на его выходе изменится только по окончании действия входного сигнала $T = 1$.

Вариант топологической реализации T -триггера показан на рис. 1.45.

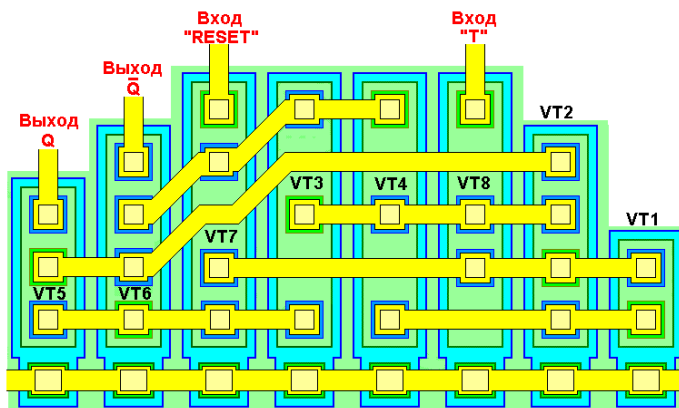


Рис. 1.45. Вариант топологической реализации T -триггера на инжекционных транзисторах

В случае реализации такого устройства на элементах ГТЛ или другого типа логики схемотехнические затраты будут существенно большими.

1.8.4. СОПРЯЖЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ МИКРОСХЕМ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА ЭЛЕМЕНТАХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЛОГИКИ С БИПОЛЯРНОЙ ЧАСТЬЮ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Поскольку технология формирования инжекционных транзисторов совместима с планарно-эпитаксиальной технологией аналоговых схем, то весьма часто в интегральных микросхемах И²Л была просто фрагментом ИМС, на которой выполнялась цифровая обработка сигналов.

Поскольку уровни сигналов в аналоговой и цифровой частях микросхем И²Л не совпадали, то возникала задача их сопряжения. Поэтому необходимо было организовать сопряжение: передать аналоговый сигнал в цифровую инжекционную часть для обработки, а после обработки опять возвратить его в аналоговую часть микросхемы.

На рис. 1.46 приведена принципиальная схема узла сопряжения инжекционной части микросхемы с биполярной. В этой схеме транзисторы $VT1$, $VT2$, $VT3$ и резистор $R1$ образуют токовое зеркало. Величина тока, вытекающего из него, может быть определена из выражения:

$$I = (E_{\Pi} - 2U_{БЭ}) / R1.$$

Данный ток в зависимости от уровня сигнала на входе инжекционного транзистора $VT4a$ либо течет в его коллектор, и тогда транзистор $VT5$ закрыт, либо при закрытом транзисторе $VT4a$ течет в базу транзистора $VT5$, и тогда транзистор $VT5$ открыт.

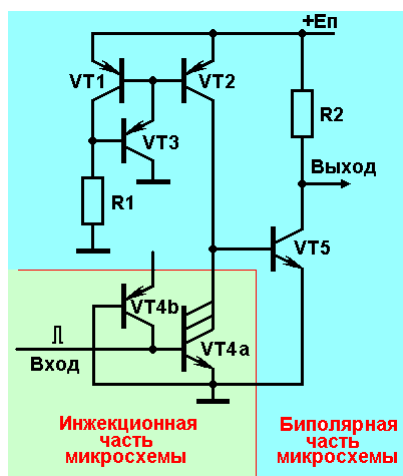


Рис. 1.46. Схема сопряжения инжекционной части микросхемы с биполярной

В этой схеме сопряжения выходной инжекционный транзистор $VT4a$ топологически выполняют мощным с объединёнными коллекторами, поскольку величина протекающего тока должна быть достаточно большой, что необходимо для нормальной работы биполярного транзистора $VT5$.

Принципиальная схема обратного перехода от биполярной части микросхемы к инжекционной приведена на рис. 1.47.

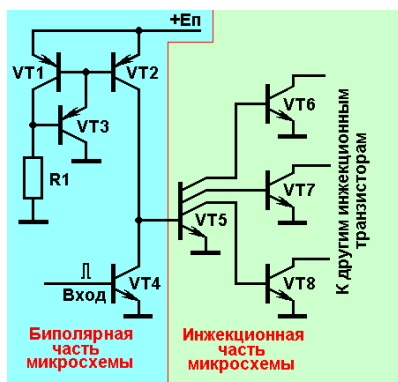


Рис. 1.47. Схема сопряжения биполярной части микросхемы с инжекционной

Она напоминает предыдущую схему. Различие состоит в том, что теперь инжекционный и биполярный транзисторы поменялись местами. Как и в предыдущем случае, инжекционный транзистор топологически выполняют мощным. Но теперь коллектора у него разделены, для того чтобы обеспечить передачу сигнала инжекционным транзисторам следующих каскадов инжекционной части микросхемы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛЕКЦИИ 8

Вопрос	Что представляет собой инжекционный транзистор?
Ответы:	
1	Инжекционный транзистор представляет собой комбинацию латерального $p-n-p$ - и вертикального $n-p-n$ -транзисторов.
2	Инжекционный транзистор представляет собой четырехслойную структуру типа $p-n-p-n$.
3	Инжекционный транзистор представляет собой два транзистора, связанные между собой общей базовой областью.
Вопрос	Как осуществляется переход от инжекционной к биполярной части интегральной микросхемы?
Ответы:	
1.	Переход от инжекционной части микросхемы к биполярной осуществляется с помощью специальной схемы, содержащей источник тока типа токовое зеркало на $p-n-p$ -транзисторах.
2.	Для перехода от инжекционной части микросхемы к биполярной нужен источник тока типа токовое зеркало, реализованный на $n-p-n$ -транзисторах.