

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Микросхемы фирмы Analog Devices широко известны в мире и используются в аппаратуре различных фирм. На сегодня они доступны и в странах СНГ. Например, в Киеве есть официальный представитель AD – фирма «ВД-Маис». Если зарегистрироваться на их сайте, то можно заказать микросхемы с учетом доставки по всей территории Украины.

Популярность микросхем от Analog Devices достаточно высока, о чем косвенно может свидетельствовать тот факт, что некоторые из них подделывают! Цель данной статьи – не описать уже состоявшееся событие (усилитель этот уже собран и работает), а рассказать читателю о паре микросхем от одного из известных изготовителей чипов для аудио, использованных в данной конструкции. Творческий подход позволит конструктору придумать им иное применение, кроме описанного в статье. Две микросхемы от AD – SSM2163 и SSM2160 позволяют построить предварительный усилитель с электронным управлением очень разнообразными функциями.

Первая из них – SSM2163 (1995 год разработки) [1], представляет собой аналоговый мультиплексор 8 входов на 2 выхода. Каждый из восьми входов имеет собственный аттенюатор с диапазоном регулировки от 0 до – 63 дБ с шагом в 1 дБ. Каждый из восьми входов может быть скоммутирован на любой из двух выходов. Управление микросхемой цифровое, по шине SPI. Таким образом, мы получаем возможность одной микросхемой закрыть полностью все самые немислимые потребности селектора входов стерео усилителя: переключение входов (1-4), выбор режима (стерео, моно, только левый, только правый), а также входной аттенюатор, позволяющий установить равным уровень сигнала на выходе коммутатора при прослушивании источников с разным уровнем сигнала на их выходах. Параметры микросхемы вполне удовлетворяют требованиям High Fidelity:

Соотношение сигнал/шум -82 дБ (относительно уровня 0,775 В)

Перегрузочная способность +10 дБ

Искажения + шум 0,007 % (при единичном усилении и уровне 0,775В)

Непонятно только значение входного сопротивления каналов, равное 10 кОм согласно выложенной на сайте изготовителя справочной информации. Это обусловило использование в моем усилителе входных буферов на микросхемах IC1 – IC8. Хотя, изготовитель в справочной документации особо подчеркивает, что «для входов и выходов - нет необходимости во внешних усилителях».

Собственно, сторонники минималистского подхода могли бы ограничиться одной лишь этой микросхемой – входной коммутатор есть, регулировка уровня громкости с диапазоном в 63 дБ также более чем достаточна. Но мы легких путей не ищем, и как уже было сказано в начале, главной целью статьи является познакомить читателя с новыми для него микросхемами. Цифровая часть микросхемы имеет восемь регистров, определяющих для каждого входа, к какому из выходов он подключен, и еще восемь регистров, определяющих уровень ослабления для каждого из входов. Чем не идеальная микросхема для микшера, тем более, что она имеет возможность каскадирования.

Вторая микросхема – SSM2160 (1996 год разработки) [2] представляет собой шестиканальный регулятор уровня сигнала. Восемь регистров микросхемы хранят значения об установленном уровне. Первый из них – общий (MASTER). Разрядность его - семь бит, что дает нам одновременную регулировку ослабления всех входов в диапазоне от 0 до –127 дБ. Шесть последующих регистров (CHANNEL1 – CHANNEL6) с разрядностью в 5 бит каждый, хранят значения, отдельные для каждого из каналов. Изменение одного из этих регистров приводит к изменению усиления соответствующего канала в диапазоне от 0 до + 31 дБ. Регулировку уровня осуществляют управляемые напряжением усилители (VCA – Voltage Controlled Amplifier), что исключает проникновение помех (щелчков) из канала управления в тракт звука. Управление микросхемой цифровое, по шине SPI. Основное назначение микросхемы – регулировка громкости в многоканальных системах домашнего театра. Заявленные изготовителем параметры довольно высоки:

Уровень шумов - 90 дБ

Разделение каналов - 80 дБ

Искажение + шум 0,01%

Динамические искажения 0,001%

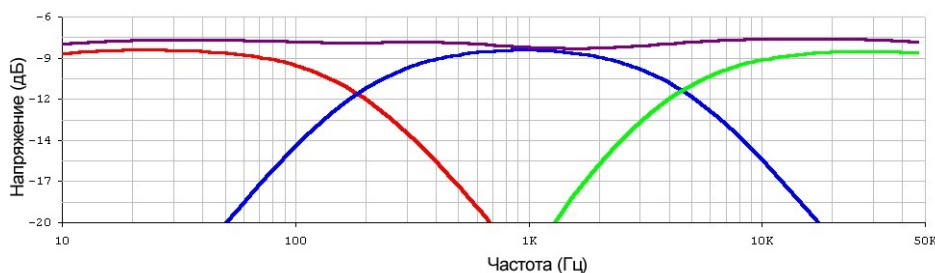
Динамический диапазон..... 100 дБ

Разбаланс каналов 1 дБ

И все то же входное сопротивление каждого канала – 10кОм.

Казалось бы, что делать шестиканальному регулятору громкости в стерео усилителе. Но еще в [3] был описан трехполосный регулятор тембра, идея которого и позаимствована в данном усилителе. То есть, сигнал каждого канала пассивными фильтрами делится на три полосы, каждая из которых подается на отдельный вход

микросхемы. На выходе инвертирующие сумматоры на микросхемах IC11 и IC12 «собирают» сигналы каналов обратно. Кстати, любителям многополосных усилителей, так поступать вовсе не обязательно – достаточно сигнал с шести выходов IC10 подать на входы шести усилителей мощности, к которым подключить соответствующие (НЧ, СЧ и ВЧ) головки. Выходные сигналы распределены следующим образом: сигнал НЧ на выходах CH1 OUT для левого и CH2 OUT для правого каналов, средние – соответственно на выходах CH3 OUT и CH4 OUT, высокие – на выходах CH5 OUT и CH6 OUT соответственно. Таким образом, мы получаем схему, регулируемую громкость и тембр при помощи всего одной микросхемы, до характеристик которой пресловутым TDA1524 еще расти и расти. Схема фильтров взята из [3], но пересчитана с учетом того, что входное сопротивление микросхемы IC10 составляет 10 кОм для каждого канала. Результат расчета был проверен программой Electronic Workbench, и на рисунке представлена АЧХ, смоделированная программой для случая идеальных компонентов.



Таким образом, две микросхемы в «спарринге» дают нам возможность:

- Выбрать один из четырех источников стерео сигнала.
- Выбрать режим прослушивания данного источника – стерео, моно, левый или правый канал.
- Установить требуемое ослабление выбранного входа.
- Регулировать громкость прослушивания.
- Регулировать тембр в трех полосах частот – НЧ, СЧ и ВЧ.

С аналоговой частью проекта вроде все ясно. Но управление обеими микросхемами цифровое по шине SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный интерфейс управления периферией). Передача команд осуществляется по трем (возможно по четырем) проводам. Сигнал DATA является собственно данными – командами и адресами регистров. Синхронизация данных осуществляется сигналом CLOCK. На что следует обратить внимание, это то, что в регистр микросхемы SSM2160 данные записываются по спаду импульса CLOCK, а в регистр SSM2163 данные записываются по фронту импульса CLOCK. Запись команд в регистр микросхем происходит при наличии сигнала низкого уровня на входе WRITE, соответствующей микросхеме. При четырех проводном управлении после того, как передача команды по выводам DATA, CLOCK и WRITE завершена, на вход LOAD микросхемы подается короткий отрицательный импульс. Собственно после этого микросхема выполняет полученную команду. При трех проводном управлении, как это сделано в данном усилителе, выводы WRITE и LOAD микросхемы соединяются вместе. При этом команду LOAD внутренняя логика микросхемы генерирует сама

Аналоговыми устройствами я занимаюсь уже давно. Но главную сложность проекта составляла как раз цифровая половина усилителя. Собственно готовая плата аналоговой части усилителя ждала своей участи несколько месяцев. И лишь после этого я понял, что разбираться с процессорами и всем, что с ними связано, придется самому. Мой знакомый – Илья Коновалов – подсказал мне выбор PIC-контроллера PIC16F877, за что ему особое спасибо. К его преимуществам относятся следующие:

- Аппаратный порт SPI;
- Режим низковольтного (5 Вольт) программирования;
- 8K Flash памяти для программ.

Вообще, большим подспорьем стали «безграничные просторы Интернет», посвященные PIC-контроллерам. Особо хотелось бы отметить сайт Дэвида Тайта (David Tait), посвященный вопросам PIC-контроллеров и его распространяемую бесплатно программу Flash PIC Programmer [4]. Именно с ее помощью я выполнял программирование микропроцессора, используя совсем простую схему программатора от Byron Jeff [5]. Следует отметить одну особенность микроконтроллера PIC16F877, использованного в данном усилителе. Бит 3 порта В не может использоваться в качестве входа/выхода, если в слове конфигурации процессора не запретить низковольтное программирование. Вместо этого он выполняет функцию включения режима низковольтного программирования, если напряжение на выводе MCLR превышает 4 Вольта. Поэтому, в данном усилителе вывод В3 соединен с корпусом.

И пару слов о ЖК-дисплее. В усилителе использован дисплей **BC1601AGPLCHb** фирмы **Bolymin**, 1 линия 16 символов, с кириллицей и светодиодной подсветкой. В принципе, это может быть дисплей, произведенный и другой фирмой, но основанный на микроконтроллере HD44780 фирмы Hitachi или его аналогах (например, KS0066U от Samsung). Особенность однострочного дисплея заключается в том, что инициализировать его нужно как двухстрочный, а адреса символов с 9-го по 16-й относятся к адресному пространству второй строки.

Теперь о том, как это все работает. Собственно, панель усилителя, как раз, являет собой образец минимализма: на ней расположены дисплей, светодиод и 4 кнопки управления – POWER(ПИТАНИЕ), SELECT(ВЫБОР), PLUS(ПЛЮС) и MINUS(МИНУС). Если есть где взять, то кнопки SELECT, PLUS и MINUS можно заменить одним валкодером. Увы, в условиях Запорожья найти валкодер я так и не смог. Кнопка POWER служит для включения и выключения усилителя. Кнопкой SELECT производится выбор параметра регулирования, а кнопками PLUS и MINUS изменение его значения. Регулировка громкости производится при работающем усилителе нажатием кнопок PLUS и MINUS. Кнопка SELECT по кольцу производит смену регулируемых параметров: ГРОМКОСТЬ, ВХОД, ТЕМПР НЧ, ТЕМПР ВЧ, ОСЛАБЛЕНИЕ и РЕЖИМ ВХОДА. Все параметры при выключении питания записываются в ЭНЗУ микропроцессора, а параметры ОСЛАБЛЕНИЕ и РЕЖИМ ВХОДА сохраняются свои собственные для каждого из 4 входов. При последующем включении все параметры восстанавливают свои значения. При включении/выключении усилителя и регулировке его параметров на 16 секунд включается подсветка дисплея. В течение этого промежутка обслуживание кнопки прекращается. То есть включить или выключить усилитель можно только тогда, когда подсветка дисплея выключена. И, чуть не забыл, – пока усилитель находится в дежурном режиме, на дисплее горит надпись «ПРИВЕТ».

Об элементах, не изображенных на схемах. К контактам 1 и 2 блока питания подключен двухцветный светодиод, имеющий два вывода. Цвет его свечения – зеленый или красный – определяется направлением протекания тока. Таким образом, одним цветом свечения светодиод индицирует дежурный режим работы, а вторым – включенное состояние.

Кнопки управления подключаются между соответствующими выводами блока процессора и «землей». Тому, кто решит кнопки SELECT, PLUS и MINUS заменить валкодером, следует иметь в виду, что удержание кнопки нажатой приводит к дальнейшему изменению регулируемого параметра.

Входные разъемы усилителя использованы типа RCA, на корпусе они установлены через изолирующие прокладки. Сигнальные выводы разъемов подключают к контактам платы с нечетными номерами. Земляные выводы подключаются к контактам с четными номерами. Таким образом, входные буферы работают в режиме дифференциальных усилителей. При этом может потребоваться соединить отдельным проводом корпус усилителя с корпусом источника. В принципе, дифференциальный вход легко преобразовать в традиционный не инвертирующий буфер. В простейшем случае для этого нужно к земляным выводам RCA разъемов припаять провод от «земли» блока питания усилителя. Другой способ заключается в следующем (рассмотрим на примере IC1 и R1-R4): резистор R1 не впаиваем; резистор R4 заменяем перемычкой, а вместо резистора R2 впаиваем разделительный конденсатор, например МКТ номиналом 1 мкФ х 63 В (только, пожалуйста, не «электролит»).

Неплохим подспорьем может стать пиковый индикатор на микросхеме K157ХП1 в типовой схеме включения, подключенный к выходу REC OUT, и настроенный на порог в 0 дБ (0,775 мВ). Как раз его показания могут стать основанием для регулировки уровня ослабления для входов. Альтернативой может стать использование блока АЦП PIC-контроллера. Для этого необходимо освободить один из разрядов порта А и написать соответствующую подпрограмму.

Конструкция

Усилитель выполнен на трех платах. Плата аналогового блока выполнена из двухсторонне фольгированного текстолита. Медь со стороны деталей оставлена в качестве экрана. Места подпайки выводов к этой стороне («земле») на схеме расположения деталей отмечены крестиком. Вокруг остальных отверстий медь раззенкована. Перемычки, отверстия под которые не отмечены крестиком, необходимо установить приподнятыми, чтобы они не касались экрана. Микросхема SSM2163 устанавливается на плату со стороны проводников. На плате аналогового блока имеются места для установки дополнительных конденсаторов С'. Это так называемые «антизвонные» конденсаторы номиналом 0,1 мкФ, расположенные у выводов питания операционных усилителей. Для конденсаторов С1 и С8 стоило бы предусмотреть больше места, реально в усилителе установлены по 2 конденсатора типа K73-16 номиналом 2,2 мкФх63В.

Плата для блока процессора разводилась еще до того, как начала работать. Например, шина данных на дисплей была подключена к порту В. В итоге, половину дорожек на ней пришлось перерезать и монтаж выполнить монтажным проводом.

Плата блока питания особенностей не имеет.

Детали

Аналоговый блок

Каждый радиолюбитель имеет свое собственное представление о том, какие операционные усилители - «самые лучшие для звука». Плата «стерпит» любые, имеющие стандартное расположение выводов – от КР140УД8 и КР544УД2 до «суперкрутых» AD797 или . Единственное, на что стоит обратить внимание – устойчивая работа выбранных ОУ при единичном коэффициенте усиления. Например, AD797 рекомендуется использовать в схемах, где усиление более 10. Их, кстати, можно рискнуть установить на место IC11 и IC12, хотя там усиление всего лишь 3 раза. Микросхемы SSM2163 и SSM2160, увы, аналогов не имеют, единственное, выпускаются они как в корпусах типа DIP, так и типа SO для поверхностного монтажа. Блокировочные конденсаторы в цепях питания могут быть как пленочными (у каждого свой уровень бескомпромиссности), так и керамическими. А вот на конденсаторах в тракте лучше не экономить.

Блок процессора

Как я уже говорил, индикатор может быть от любого изготовителя, лишь бы его внутренний контроллер был совместим с HD44780 фирмы Hitachi (а аналогов этой микросхемы не менее чем изготовителей ЖК-дисплеев на их основе). Конденсаторы – керамика, электролит – алюминиевый.

Блок питания

Операционный усилитель – любой, лишь бы работал при имеющихся напряжениях питания. Реле типа JB1F-12V фирмы MATSUSHITA, но сейчас на радиорынках есть выпускающиеся в данном типе корпуса реле других фирм. Рабочее напряжение обмотки реле – 12 Вольт. На плате блока питания после реле имеются контактные площадки, к которым в моем усилителе подключена розетка, в которую включается сетевая вилка усилителя мощности. В этом случае необходимо обратить внимание на ток, который способно коммутировать устанавливаемое реле. Выпрямительные мосты выбираются по номинальному току. Ток, потребляемый аналоговой частью усилителя, не превышает 100 мА. Ток, потребляемый микропроцессором и дисплеем, не превышает 10 мА, но при включении подсветки дисплея возрастает во много раз (цепь подсветки потребляет более 200 мА). Трансформатор TR2 – от блока питания магнитофона Весна-310. Трансформатор TR1 приобретен на радиорынке, маркировок не имеет, каждая из его обмоток дает переменные 9 Вольт при токе нагрузки до 250 мА. Кроме того, на плате вокруг диодного моста BR1 имеются отверстия для установки блокировочных конденсаторов емкостью 33-47 нФ, снижающих уровень импульсных помех, проходящих из сети.

Налаживание

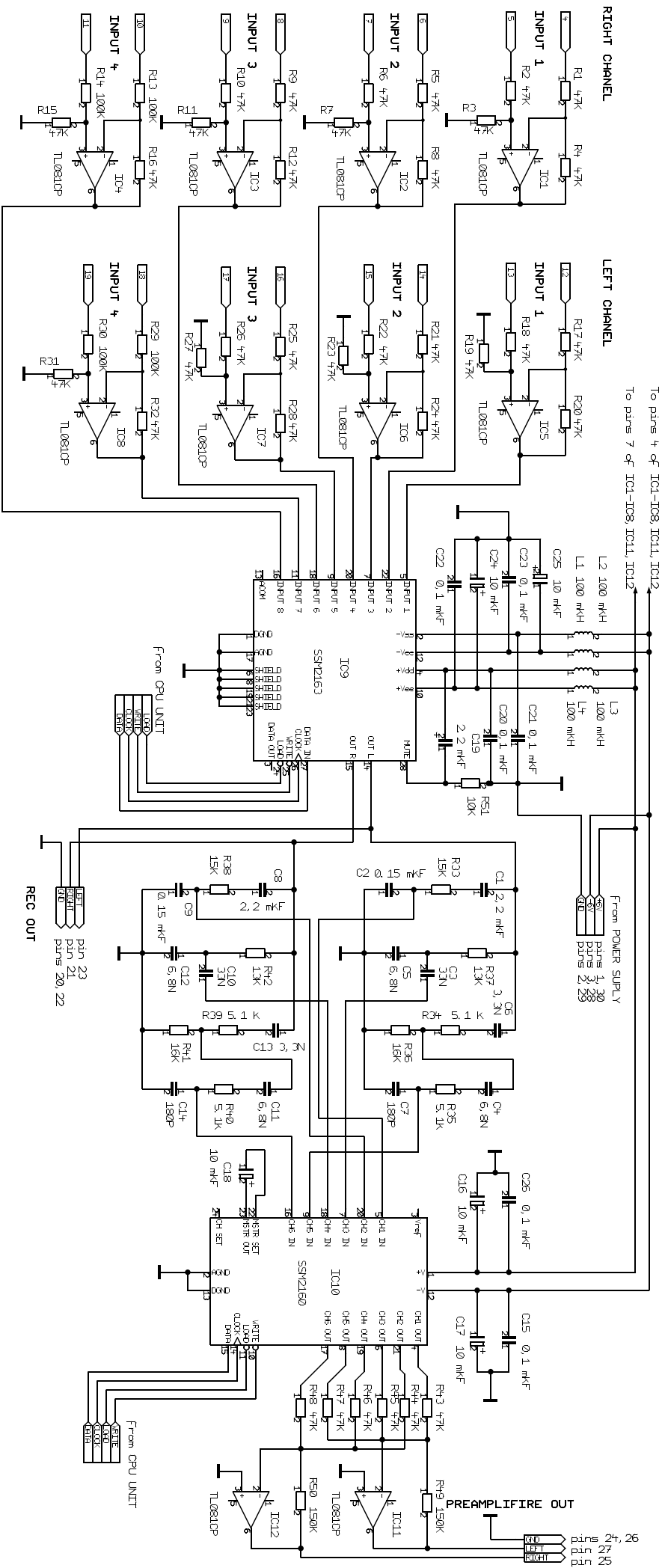
Начнем с того, что проще. В блоке питания необходимо еще до установки в плату с помощью тестера отобрать два резистора с наиболее близкими значениями сопротивления - R4 и R5. Точность их подбора влияет на точность равенства питающих напряжений +6 и -6 Вольт. Реально, это способствует снижению влияния помех и пульсаций блока питания, так как напряжение -6 Вольт зеркально повторяет напряжение +6 Вольт. Если будет использовано реле с очень низким током отпускания, может оказаться, что ток протекающий через светодиод, подключенный к контактам 1 и 2, и резистор R8, будет мешать его выключению. В этом случае можно попробовать одновременно увеличить номиналы резисторов R8 и R9 или, что лучше, подключить параллельно обмотке реле резистор, номинал которого подобрать экспериментально.

Блок процессора в налаживании не нуждается. Подстроечный резистор регулятора контрастности дисплея перед включением нужно установить в положение близкое к нулю. Реально контрастность регулируется, когда напряжение на движке резистора меняется от 0 до 1,7 Вольта. При дальнейшем увеличении напряжения дисплей гаснет.

Аналоговый блок. Сложно что-либо сказать про налаживание блока, не имеющего ни одного подстроечного элемента. На самом деле, еще до установки резисторов в плату их необходимо отобрать с точностью 1%, причем важен не номинал, а равенство значений определенных групп. Реально, приобрета 40 резисторов номиналом 47 кОм, при помощи тестера сначала отбираете 6 штук с наиболее близкими значениями, и устанавливаете их на места R43 – R48. Остальные отбираете группами по 4 штуки. Первая из них впаивается на место R1-R4, вторая – R5-R8, и т.д. Это необходимо для правильной работы дифференциальных усилителей. Резисторы фильтров темброблока также необходимо отобрать попарно. Конденсаторы фильтров используются типа МКТ с допуском 5% а лучше 2%.

Литература

1. <http://www.analog.com/UploadedFiles/Datasheets/17523187ssm2163.pdf>
2. http://www.analog.com/UploadedFiles/Datasheets/81676049SSM2160_a.pdf
3. Шумов. Д. Трехполосный регулятор тембра. ж. Радио 1982 г. №11 с. 44
4. <http://people.man.ac.uk/~mbhstdj/piclinks.html>
5. <http://www.finitesite.com/d3jsys/index.html>



To pins 4 of IC1-IC8, IC11, IC12
 To pins 7 of IC1-IC8, IC11, IC12

From POWER SUPPLY
 pins 1, 20, 21, 22

From CPU UNIT
 DATA IN
 WRITE DATA
 CLOCK
 DATA OUT

From CPU UNIT
 DATA
 CLOCK
 DATA

pins 24, 25, 26

