

Последовательный канал информационного обмена по стандарту
ARINC-429

Лабораторная работа Lab405_PADC

Стандарт ARINC-429, разработанный фирмой ARINC, предназначен для межсистемного обмена информацией в коммерческих и транспортных самолётах (в России это ГОСТ-18977-79). Скорость передачи 12.5, 50 или 100 кбит/сек. Соединительные провода — экранированные витые пары. На одной шине (витой паре) может быть только один передатчик и не более 20 приемников. Передатчик всегда активен, он либо передаёт слова данных или выдаёт "пустой" уровень (0 В). Размер "слова" составляет 32 бита. Бит 32 – контроль четности (дополнение до нечетного числа единиц). Код – биполярный самосинхронизирующийся, с возвратом к нулю (RZ). Логической единице соответствует положительный импульс, а логическому нулю – отрицательный импульс. Длительность импульса равна половине интервала следования (длительности бита). Импульсы должны иметь плавкие фронты примерно 0.1-0.3 от длительности импульса. Пример фрагмента временных диаграмм сигналов шины стандарта ARINC 429 приведен на рис.1.

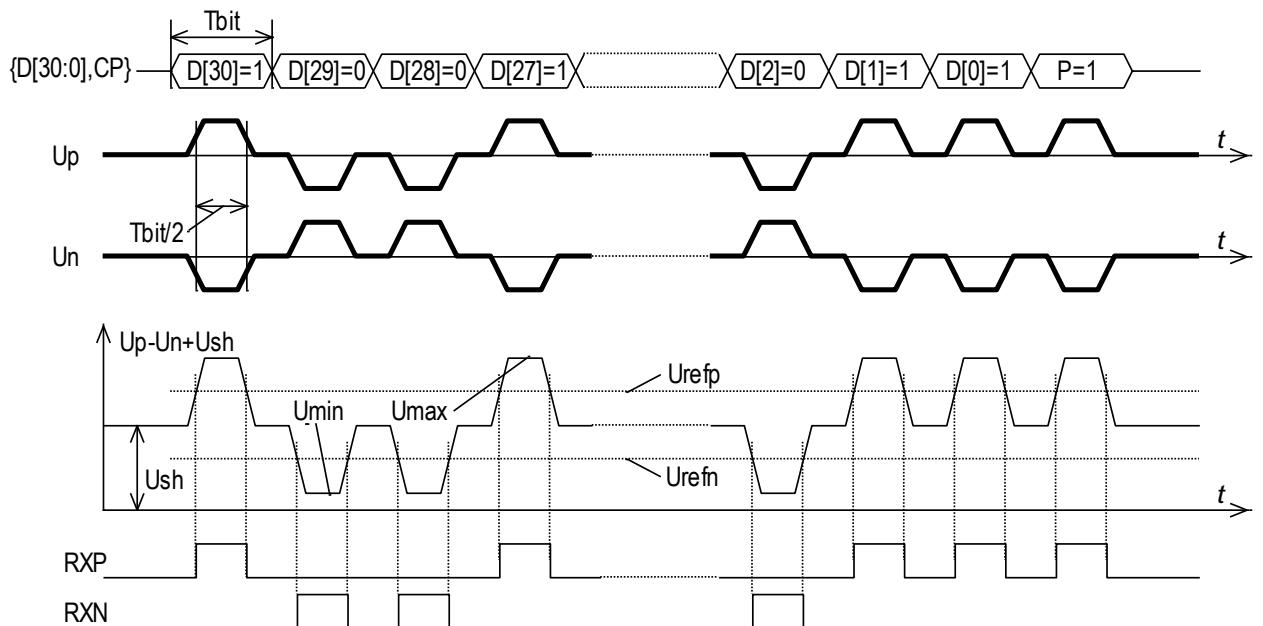


Рис.1. Пример диаграмм сигналов стандарта ARINC 429

Для преобразования аналоговых сигналов Up и Un в логические сигналы RXP и RXN рекомендуется использовать микросхемы фирмы HOLT, например, HI-8591.

В тех случаях, когда нет возможности использовать профессиональные микросхемы, то приходится применять дифференциальный усилитель и два компаратора с порогами на уровне половины амплитуды положительных и отрицательных импульсов. При однополярном напряжении питания напряжение на выходе дифференциального усилителя смешено на Ush (примерно половина напряжения питания). Для автоматической установки порогов Urefp и Urefn на необходимых уровнях:

$U_{refp}=U_{sh}+(U_{max}-U_{sh})/2$, $U_{refn}=U_{sh}-(U_{sh}-U_{min})/2$ надо знать амплитуду каждого импульса.

Если все импульсы имеют одинаковую амплитуду, то для всех импульсов, кроме первого положительного и первого отрицательного, U_{max} и U_{min} можно определить при помощи пиковых детекторов. При этом первые импульсы будут пропущены. Если недопустим пропуск первых импульсов и, более того, если все импульсы имеют разные амплитуды, то задачу установки порога на уровне половины его амплитуды можно решить для задержанного импульса. Задержка импульса должна быть больше длительности фронта. Если после спада задержанного импульса сбрасывать напряжение пикового детектора до исходного уровня U_{sh} , то для каждого импульса будет устанавливаться свой порог. Напряжение смещения U_{sh} можно измерить в паузе между передачами пакетов.

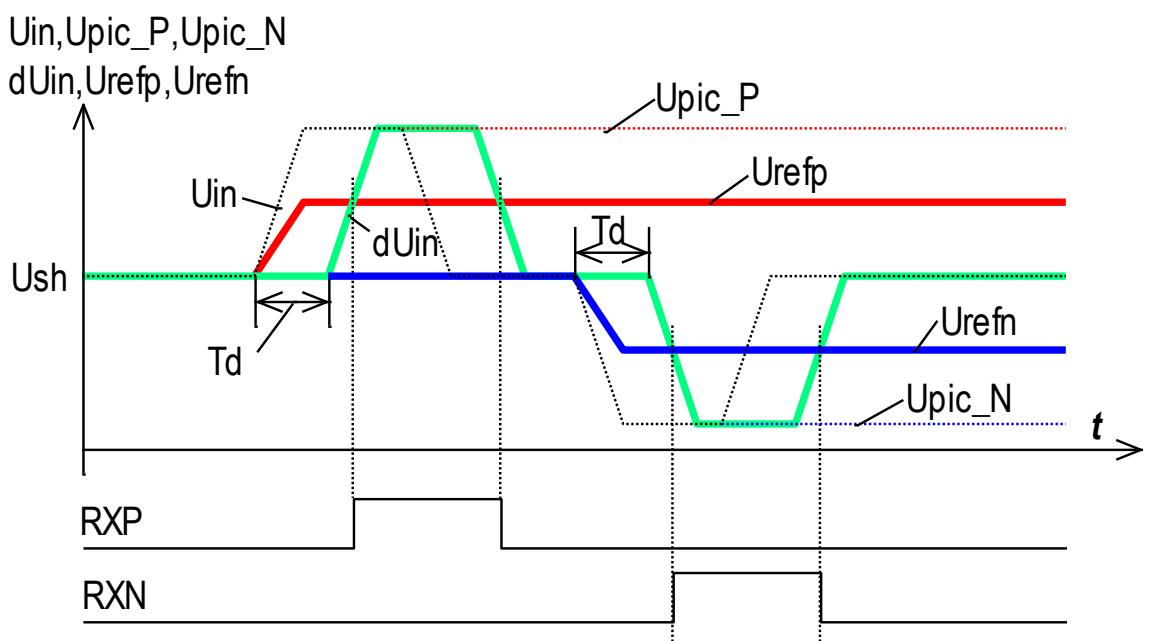


Рис.2. Пример временных диаграмм автоматической установки порогов компараторов на уровне половины амплитуды

Аналоговыми средствами реализовывать этот метод очень неудобно, прежде всего, из-за трудностей реализации неискажающей линии задержки импульсов. Неудобно также реализовывать пиковые детекторы и устройство выборки и запоминания напряжения смещения.

Если «оцифровать» сигнал с выхода дифференциального усилителя при помощи аналого-цифрового преобразователя, то с цифровыми данными все необходимые операции решаются очень просто. Например, цифровая линия задержки - это модуль памяти, в который непрерывно записываются данные по линейно растущему с тактом T_{ce} адресу Adr_{wr} , ачитываются также по аналогично растущему адресу, но смещенному на N_{del} , $Adr_{rd}=Adr_{wr}-N_{del}$. Задержка выходных данных памяти относительно входных при этом равна $N_{del} \cdot T_{ce}$.

Пиковый детектор максимума, например, - это регистр в который с каждым тактом записываются данные, только если они превышают текущие данные регистра. Аналогично, в регистр пикового детектора минимума записываются данные только при условии, что они меньше текущих данных регистра.

1. Цифровой имитатор сигналов ARINC-429

1.1 Модуль генератора трапецидального импульса со смещением и регулируемой амплитудой

```

`include "CONST.v"
module Gen_MTRP( output reg [7:0]MTRP_SH, //Умноженная, смещенная трапеция
                  input clk,           output reg [7:0]TRP=0,      //Трапеция
                  input st,            output reg [6:0]cb_tact=0,   //Счетчик такта
                  input [7:0]M,         output reg T_TRP=0,       //Интервал такта
                  input S); //Полярность импульса

//---Генератор се-----
reg [5:0]cb_ce=0;
wire ce=(cb_ce==`Fclk(`BR*`NP));//Пример,50000000/(100000*100)=5, Tce=Tclk*5=100ns
always @ (posedge clk) begin
  cb_ce <= (ce | st)? 1 : cb_ce+1 ;
end

wire T_front = (cb_tact>=0) & (cb_tact<`Nfr) & T_TRP ; // Интервал фронта
wire T_spad = (cb_tact>=`NP/2) & T_TRP ;           // Интервал спада
wire [15:0]AMTRP=TRP*M ;                         //Умножение на M
wire [7:0]MTRP = AMTRP>>7 ;                     //Деление на 128

always @ (posedge clk) begin
  MTRP_SH <= (S & ce)? `SH0+MTRP : ce? `SH0-MTRP : MTRP_SH;
  cb_tact <= st? 0 : (T_TRP & ce)? cb_tact+1 : cb_tact ;
  T_TRP <= st? 1 : ((cb_tact==`NP/2+`Nfr) & ce)? 0 : T_TRP ;
  TRP <= st? 0 : (T_front & ce)? TRP+7 : (T_spad & ce)? TRP-7 : T_TRP? TRP : 0 ;
end
endmodule

```

В соответствии с данными модуля параметров CONST.v этом модуле данные регистра TRP образуют трапецидальный импульс с длительностями фронта и спада по `Nfr=15 тактов, $15 \cdot T_{ce}$. Длительность вершины 35 тактов ($\lceil NP/2-2 \cdot Nfr \rceil$). Длительность Tbit 100 тактов ($NP \cdot T_{ce}$). На интервалах фронта T_front и спада T_spad данные меняются с шагом 7. За 15 тактов на интервале фронта данные увеличиваются от 7 до $15 \cdot 7 = 105$, а на интервале спада уменьшаются от 105 до 7.

Для получения импульса с регулируемой амплитудой данные регистра TRP[7:0] умножаются на M[7:0] ($AMTRP[15:0] = TRP \cdot M$, $0 \leq M \leq 128$). Таким образом, амплитуда импульса AMTRP[15:0] равна $M \cdot 105$, а амплитуда выходного импульса MTRP[7:0] равна $M \cdot 105 / 128$. Положительные импульсы сигнала MTRP_SH получаются при S=1 суммированием со смещением `NS0, а отрицательные при S=0 – вычитанием из смещения `NS0.

Для получения аналогового сигнала ARINC-429 при выполнении работы используется цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) DAC_R2R.

Напряжение на выходе такого ЦАП, $U_{dac} = 3.3V \cdot MTRP_SH / 256$.

Максимальная амплитуда ($M=128$), $U_{max} = 3.3V \cdot 105 / 256 = 1.35V$.

Минимальная амплитуда ($M=1$), $U_{min} = 3.3V \cdot 1 / 256 \approx 13mV$.

Напряжение смещения $U_{sh} = 3.3V \cdot NS0 / 256 = 3.3V \cdot 128 / 256 = 1.65V$.

1.2 Модуль параметров CONST.v

```

`define Fclk      50000000 //50 MHz – частота сигнала синхронизации NEXYS-2
`define F10MHz   10000000 //10 MHz для PADC – частота дискретизации АЦП
`define BR       12500    //BAUDRATE - скорость 12,5 kBOD
//define BR      50000    //BAUDRATE - скорость 50 kBOD
//define BR      100000   //BAUDRATE - скорость 100 kBOD
`define NBR     `Fclk`BR //50000000/12500=4000
`define NP      100      //Число точек на Tbit
`define Nfr     15       //Число точек фронта/спада
`define Nbit    32       //Число бит в слове
`define Npauz   10       //Число бит паузы (для передатчика) 4<= Npauz<=200
`define SH0     8'h80    //Смещение (инициализация модуля памяти 8'h80=128)
`define Amin    ??       //Минимальная амплитуда импульса (см.Таблицу 1)
`define Mmin    ??       //Минимальный множитель, Mmin=Amin*128/105
`define my_DAT  31'h12345678 //Мои данные (см. Таблицу 1)
`define Sim_DAT 31'h00000000 //Для проверки контроля четности при моделировании

```

1.3 Модуль генератора периодической последовательности слов ARINC-429

```

`include "CONST.v"
module AR_TXA(   output wire [7:0]TXA, //Цифровой сигнал
                  input clk,
                  input ext_st,
                  input SW,
                  input [30:0]DAT,
                  input [7:0]M,
                  output wire ce_tact,
                  output reg en_tx=0,
                  output reg [8:0]cb_bit=`Nbit+`Npauz-10,//Счетчик периода кадров
                  output wire my_st,/   //Периодический старт при SW=1
                  output wire TX_bit,
                  output wire T_cp,    //Интервал контрольного бита
                  output reg [4:0]NW=0); //Номер слова

wire ce ; //Сигнал дискретизации импульсов генератора
wire st = SW? my_st : ext_st ; //Внешний старт при SW=0
assign my_st = (cb_bit==`Nbit+`Npauz-1) & ce_tact ;//Периодический старт
reg [8:0]cb_tact=0 ; //Счетчик бит
reg [30:0]sr_dat=0 ; //Регистр сдвига данных
reg FT_cp=1 ; //Счетчик четности
assign ce_tact = (cb_tact==`NP) & ce ; //Границы бит
assign T_cp = (cb_bit==`Nbit-1) & en_tx ; //Интервал контрольного бита
wire T_dat = en_tx & !T_cp ; //Интервал данных
assign TX_bit= T_dat? sr_dat[30] : T_cp? FT_cp : 0 ;

always @ (posedge clk) begin
  cb_tact <= ce_tact? 1 : ce? cb_tact+1 : cb_tact ;
  cb_bit <= st? 0 : ce_tact? cb_bit+1 : cb_bit ;
  en_tx <= st? 1 : (T_cp & ce_tact)? 0 : en_tx ;
  NW <= (T_cp & ce_tact)? NW+1 : NW ;
  FT_cp <= st? 1 : (sr_dat[30] & ce_tact & T_dat)? !FT_cp : FT_cp ; // Счетчик четности
  sr_dat <= st? DAT : (T_dat & ce_tact)? sr_dat<<1 : sr_dat ; //Сдвиг данных
end
//--Генератор трапецидальных импульсов
wire [7:0]MTRP_SH ;

```

```

assign TXA = en_tx? MTRP_SH : `SH0 ;
Gen_MTRP DD2 ( .clk(clk),      .MTRP_SH(MTRP_SH),
                .st(ce_tact),.ce(ce),
                .S(TX_bit),
                .M(M));
endmodule

```

Этот модуль формирует периодическую последовательность слов (`my_DAT[31:0], см. "CONST.v") с паузой между словами в `Npaуз бит. В состав модуля входит модуль генератора трапециoidalных импульсов Gen_MTRP. T_cp соответствует интервалу последнего контрольного бита "слова".

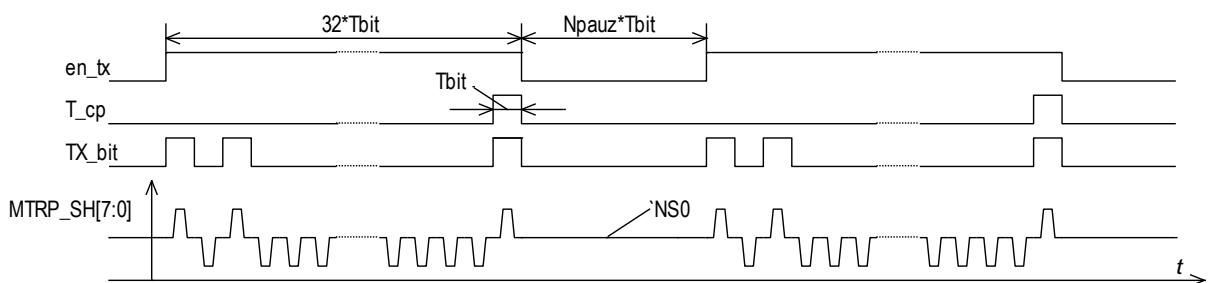


Рис.3 Пример временных диаграмм сигналов en_tx и T_cp TX_bit и MTRP_SH[7:0] модуля AR_TXA

2. Приемник сигналов ARINC429

2.1 Модуль приемника сигналов ARINC-429 с автоматической установкой порога на уровне половины амплитуды

```

`include "CONST.v"
module AR_RXA(
    input [7:0]Inp,output wire [7:0]SH,          //Смещение
    input clk,      output wire [7:0]DInp,        //Задержанные импульсы
    output wire [7:0] AMP,           //Амплитуда импульсов
    output wire [7:0]bf_AMP,        //Амплитуда импульсов в кадре
    output wire RXP,               //Выход компаратора положительных импульсов
    output wire RXN,               //Выход компаратора отрицательных импульсов
    output wire RXPN,              //RXPN=(RXP | RXN)
    output reg en_rx=0,            //Интервал приема слова
    output reg FT_cp=0,            //Триггер контроля четности
    output reg RX_bit=0,           //Бит слова
    output reg [5:0]cb_bit=0,       //Счетчик бит "слова"
    output wire ok_rx,             //Есть прием "слова"
    output reg [30:0]bf_dat=0,      //Принятые данные "слова"
    output reg [30:0]sr_dat=0,      //Регистр сдвига данных
    output wire res,               //Сброс после приема "слова"
    output wire M10M                //Сигнал дискретизации АЦП PADC
);
//-----
assign RXPN = (RXP | RXN) ;
wire ce ;
//--Измеритель смещения и амплитуды
Mes_SH_AMP DD1 (
    .Inp(Inp),   .SH(SH),      //Смещение в паузе

```

```

.clk(clk), .DInp(DInp), //Задержанные импульсы
.res(res), .AMP(AMP), //Амплитуда импульсов в кадре
.bf_AMP(bf_AMP),//Буфер амплитуды
.RXP(RXP), //Выход компаратора положительных импульсов
.RXN(RXN), //Выход компаратора отрицательных импульсов
.ce10M(ce), //Сигнал дискретизации приемника
.M10M(M10M)); //Сигнал дискретизации АЦП

reg tRXPN=0 ;// Задержанные импульсы
wire front_RXPN = RXPN & !tRXPN; //Фронт RXPN
wire spad_RXPN = !RXPN & tRXPN; //Спад RXPN
reg [11:0] cb_vel =0;//Счетчик длительности бита
reg [11:0] bf_vel =0;//Буфер длительности бита
//---Генератор сброса
reg [13:0] cb_res=0 ; //Счетчик сброса в паузе между "словами"
assign res = (cb_res==4*bf_vel) & (cb_res>=25) & en_rx & ce;
wire T_cp = (cb_bit==31) ;
wire ce_end = T_cp & spad_RXPN ;
assign ok_rx = (FT_cp & ce_end) ;

always @ (posedge clk) if (ce) begin
tRXPN <= RXPN; // Задержка импульсов
en_rx <= RXPN? 1 : res? 0 : en_rx ;
cb_vel <= front_RXPN? 0 : en_rx? cb_vel+1 : cb_vel ;
bf_vel <= front_RXPN? cb_vel : bf_vel ;
cb_res <= RXPN? 0 : en_rx? cb_res+1 : cb_res ;
cb_bit <= res? 0 : spad_RXPN? cb_bit+1 : cb_bit ;
FT_cp <= res? 0 : (front_RXPN & RXP)? !FT_cp : FT_cp ;
RX_bit <= res? 0 : front_RXPN? RXP : RX_bit;
sr_dat <= (front_RXPN & !T_cp)? sr_dat<<1 | RXP : sr_dat ;//
bf_dat <= ok_rx? sr_dat : bf_dat ;//
end
endmodule

```

Схему модуля Mes_SH_AMP предстоит составить **самостоятельно** (см. временные диаграммы рис.2).

Для оценки амплитуды ради установки порогов на относительном уровне половины амплитуды необходимо задержать цифровой сигнал на длительность Tdel не менее длительности фронта Tfr импульсов. Импульсы генератора Gen_MTRP имеют длительность фронта 15*Tce, где Tce – период дискретизации импульсов. Если задерживать импульсы с таким же периодом дискретизации, то для задержки на 15 тактов длительности фронта 8-и битного сигнала MTRP_SH[7:0] достаточно использовать модуль памяти MEM8x16 всего на 16 8-и битных ячеек памяти.

Период сигнала дискретизации при максимальной скорости 100kbit/s равен 0.1us (Tbit/NP=10us/100), а при минимальной скорости 12.5 kbit/s он равен 0.8us (Tbit/NP=80us/100). Если задерживать импульсы сигнала с минимальным периодом дискретизации 0.1us, то для задержки импульсов «малой» скорости 12.5 kbit/s, длительность фронта которых равна 12us необходимо не 15, а 120 тактов (12us/0.1us=120). Для чего необходим модуль памяти MEM8x128 не на 16, а на 128 8-и битных ячеек. Модуль Mes_SH_AMP с такой фиксированной задержкой сигнала на 12us пригоден для сигналов вех трех вариантов скоростей 12.5, 50 и 100 kbit/s интерфейса ARINC-429.

2.1.1 Модуль памяти

```

module MEM8x128(
    input clk,      output wire [7:0] DO,
    input we,
    input [7:0] DI,
    input [6:0] Adr_wr,
    input [6:0] Adr_rd);

reg [7:0]MEM[127:0] ;
assign DO = MEM[Adr_rd] ;
initial//Инициализация модуля памяти из файла init_MEM8x128.txt
$readmemh ("init_MEM8x128.txt", MEM, 0, 127);
always @ (posedge clk) begin
MEM[Adr_wr] <= we? DI : MEM[Adr_wr] ;
end
endmodule

```

Текстовый файл инициализации модуля памяти init_MEM8x128.txt должен иметь 128 строк числа 80 – номинального смещения SH0[7:0] в HEX формате: `SH0=8'h80 = 128.

Адрес записи Adr_wr[6:0] это суммирующий счетчик, который инкрементируется с периодом дискретизации 0.1us, а адрес чтения Adr_rd[6:0]= Adr_wr-126 (задержка на 12.6us).

Смещение SH это значение сигнала в паузе между словами (SH <= res? Inp : SH;). Амплитуда положительного импульса это wire [7:0]AMP_P = PICmax-SH ; Амплитуда отрицательного импульса это wire [7:0]AMP_N = SH-PICmin ;

Если пиковые детекторы сбрасывать в конце каждого такта, то в качестве амплитуды можно взять сумму амплитуд положительных и отрицательных импульсов AMP= AMP_P + AMP_N, т.к. одна из них на любом такте обязательно равна нулю. Но если сбрасывать пиковые детекторы только в конце слова, то эта сумма будет давать удвоенное значение амплитуды.

Пороги REF_P и REF_N компараторов положительных и отрицательных импульсов это:

```

wire [7:0]REF_P = SH+(AMP_P>>1) ;
wire [7:0]REF_N = SH-(AMP_N>>1) ;
где:

```

Для исключения влияния шума надо блокировать выходные сигналы RXP и RXN компараторов, если амплитуды импульсов меньше минимальной `Amin, которая должна быть больше пиковых значений шума.

```

assign RXP =(AMP_P>=`Amin) & (DInp>REF_P) ;
assign RXN =(AMP_N>=`Amin) & (DInp<REF_N) ;

```

Регистры пиковых детекторов модуля Mes_SH_AMP измерения смещения и амплитуды PICmax и PICmin должны сбрасываться в исходные состояния `SH сигналом res.

```

PICmax <= res? `SH0 : (ce10M & (Inp>PICmax))? Inp : PICmax ; //SH0
PICmin <= res? `SH0 : (ce10M & (Inp<PICmin))? Inp : PICmin ; //SH1

```

Пороги компараторов REF_P и REF_N:

```

wire [7:0]REF_P = SH+(AMP_P>>1) ; // Деление амплитуды на 2
wire [7:0]REF_N = SH-(AMP_N>>1) ; // Деление амплитуды на 2

```

В модуле **AR_RXA** импульс res вырабатывается после последнего импульса RXPN с задержкой на минимальную паузу 4*Tbit. Для измерения длительности бита используется счетчик cb_vel, который фронтами импульсов «сбрасывается» в 1, а в паузах между ними инкрементируется с периодом Tclk. Измеренное значение длительности бита Ntbit

сохраняется в буфере bf_vel. При минимальной скорости 12.5kbit/s Tbit/Tclk=80us/20ns=4000. Отсюда следует, что число разрядов счетчика cb_vel и буфера bf_vel должно быть не меньше 12.

Счетчик сброса импульсами RXPN удерживается в 0, а в паузах между ними и после последнего импульса RXPN инкрементируется с периодом Tclk до порога $4*bf_vel = 4*Ntbit$. Импульс сброса res это выход компаратора assign res = (cb_res==4*bf_vel) & (cb_res>=25) & en_rx & ce; Дополнительное условие (cb_res>=25) необходимо для исключения импульса res в начале слова.

Для контроля четности используется FT триггер FT_cp (однобитный счетчик), который по сигналу res сбрасывается в 0, а импульсами “единиц” слова переключается в противоположное состояние. При нечетном числе “единиц” в конце слова FT_cp=1, что является признаком нечетного числа единиц в слове.

Полное число импульсов в “слове” подсчитывается счетчиком cb_bit, и если после окончания “слова” cb_bit не равно 32 или FT_cp не равно 1, то сигнал ok_rx не вырабатывается и данные из регистра сдвига sr_dat[30:0] не переписываются в выходной регистр bf_dat[30:0].(assign ok_rx = (res & FT_cp & (cb_bit==32));)

2.2 Схема моделирования модуля измерения амплитуды и смещения

```
module Sch_Test_Mes_SH_AMP(output wire [7:0]TXA,//Цифровой сигнал передатчика
    input clk_tx,      output wire ce_tact,      //Границы бит
    input ext_st,      output wire en_tx,       //Интервал передачи слова
    input SW,          output wire [8:0]cb_bit, //Счетчик бит
    input [30:0]DAT,   output wire my_st,       //Периодический старт
                    output wire TX_bit,      //Бит данных
                    output wire T_cp,       //Интервал контрольного бита
                    output wire [4:0]NW,     //Номер слова
    //--Сигналы измеритель смещения и амплитуды
    input clk_rx,      output wire [7:0]SH,        //Смещение
                    output wire [7:0]DInp, //Задержанные импульсы
                    output wire [7:0]AMP, //Текущая амплитуда
                    output wire ce10M,    //Сигнал дискретизации приемника
                    output wire M10M,     //сигнала дискретизации АЦП
                    output wire RXP,      //Выход компаратора положительных импульсов
                    output wire RXN);    //Выход компаратора отрицательных импульсов

    //-- Генератор пакета импульсов
    AR_TXA DD1 (
        .clk(clk_tx),      .TXA(TXA),
        .SW(SW),           .ce_tact(ce_tact),
        .M(cb_bit[7:0]),   .en_tx(en_tx),
        .ext_st(ext_st),   .cb_bit(cb_bit),
        .DAT(DAT),         .my_st(my_st),
        .TX_bit(TX_bit),
        .T_cp(T_cp),
        .NW(NW));
    //--Измеритель смещения и амплитуды
    Mes_SH_AMP DD2 (
        .Inp(TXA),         .DInp(DInp),
        .clk(clk_rx),       .SH(SH),
        .res(ce_tact),      .AMP(AMP),
```

```

.ce10M(ce10M),
.M10M(M10M),
.RXP(RXP),
.RXN(RXN));
endmodule

```

2.2.1 Пример содержательной части задания на моделирование модуля Mes_SH_AMP

```

//Сигналы синхронизации clk_tx и clk_rx модулей передатчика и приемника
 должны быть разные.
// Сигнал синхронизации передатчика
parameter PTX = 20.0 ; //Период tx_clk
always begin clk_tx = 1'b0; #(PTX/2); clk_tx = 1'b1; #(PTX/2); end
// Варианты сигнала синхронизации приемника
parameter PRX = 22.0 ; // Период clk_rx = 22.0
//parameter PRX = 20.0 ; // Период clk_rx = 20.0
//parameter PRX = 15.0 ; // Период clk_rx = 15.0
always begin clk_rx = 1'b0; #(PRX/2); clk_rx = 1'b1; #(PRX/2); end
initial begin
    ext_st = 0; SW = 0; DAT = 0;
#100000; ext_st = 1; SW = 0; DAT = 31'h12345678;(`my_DAT из Таблицы 1 )
#20      ext_st = 0;
end
endmodule

```

2.3 Схема моделирования приемника AR_RXA

```

.clk(clk
`include "CONST.v"
module Test_AR_RXA//--Сигналы передатчика
  input clk_tx,      output wire[7:0] TXA, //Цифровой сигнал передатчика
  input SW,          output wire TX_bit, //Биты данных
  input ext_st,      output wire en_tx, //Интервал передачи слова
                  output wire [8:0]cb_bit_tx,//Счетчик бит
                  output wire T_cp, //Интервал контрольного бита
                  output wire [4:0]NW, //Номер слова
                  output wire [7:0]M, //Множитель амплитуды
  //--Сигналы приемника
  input clk_rx,      output wire M10M, //Сигнал дискретизации АЦП
                  output wire [7:0]DInp, //Задерженные импульсы
                  output wire [7:0]SH, //Смещение
                  output wire [7:0]AMP, //Сумма амплитуд импульсов в кадре
                  output wire [7:0]bf_AMP,//Средняя амплитуда импульсов в кадре
                  output wire RXP, //Выход компаратора положительных импульсов
                  output wire RXN, //Выход компаратора отрицательных импульсов
                  output wire RXPN, //RXPN=RXP | RXN
                  output wire [30:0]RX_dat,//Принятое слово
                  output wire [30:0]sr_dat, //Регистр сдвига
                  output wire RX_bit, //Принятый бит
                  output wire [5:0]cb_bit_rx//Число импульсов в кадре

```

```

        output wire FT_cp,      //Триггер контроля четности
        output wire en_rx,      //Интервал приема слова
        output wire ok_rx,      //Успешный прием слова
        output wire res,        //Авто сброс в конце паузы
        output wire [30:0]TX_dat
    );
//--Свои данные для каждого слова
assign TX_dat= (NW==0)? `Sim_DAT+0 :// 1 единиц
                  (NW==1)? `Sim_DAT+1 :// 2 единица
                  (NW==2)? `Sim_DAT+3 :// 3 единицы
                  (NW==3)? `Sim_DAT+7 :// 4 единицы
                  (NW==4)? `Sim_DAT+15 ://5 единицы
                  `Sim_DAT+31 ;//6 единиц
//--Свой множитель амплитуды для каждого слова
assign M = (NW==0)? `Mmin+3:
                  (NW==1)? `Mmin+2 :
                  (NW==2)? `Mmin+1 :
                  (NW==3)? `Mmin+0 :
                  (NW==4)? `Mmin-1 :`Mmin-2 ;
AR_TXA DD1 (.clk(clk_tx),      .TXA(TXA),
             .M(M),           .TX_bit(TX_bit),
             .DAT(TX_dat),    .en_tx(en_tx),
             .SW(SW),          .cb_bit(cb_bit_tx),
             .T_cp(T_cp),     .NW(NW),
             .ext_st(ext_st));
AR_RXA DD2 ( .Inp(TXA),      .DInp(DInp),
             .clk(clk_rx),    .SH(SH),
                           .AMP(AMP),
                           .bf_AMP(bf_AMP),
                           .RXP(RXP),
                           .RXN(RXN),
                           .RXPN(RXPN),
                           .bf_dat(RX_dat),
                           .sr_dat(sr_dat),
                           .RX_bit(RX_bit),
                           .cb_bit(cb_bit_rx),
                           .FT_cp(FT_cp),
                           .en_rx(en_rx),
                           .ok_rx(ok_rx),
                           .res(res),
                           .M10M(M10M));
endmodule

```

В созданный модуль tf_Test_AR_RXA задания на моделирование модуля Test_AR_RXA надо включить модуль параметров CONST.v.

2.3.1 Пример содержательной части задания на моделирование для схемы Test_AR_RXA (^Amin=19, `BR=12500, Simulation Run Time=20 ms)

```

//Сигналы синхронизации clk_tx и clk_rx модулей передатчика и приемника должны быть
разные.
// Сигнал синхронизации передатчика
parameter PTX = 20.0 ; //Период tx_clk
always begin clk_tx = 1'b0; #(PTX/2); clk_tx = 1'b1; #(PTX/2); end
// Варианты сигнала синхронизации приемника
//parameter PRX = 20.0 ; // Период clk_rx = 20.0
parameter PRX = 10.0 ; // Период clk_rx = 10.0
//parameter PRX = 40.0 ; // Период clk_rx = 40.0
always begin clk_rx = 1'b0; #(PRX/2); clk_rx = 1'b1; #(PRX/2); end
initial begin
    SW=0; ext_st=0;
#10000; SW=1; ext_st=0; //SW=1 - периодический запуск
end
endmodule

```

Таблица 1

№	Скорость `BR[БОД]	Данные `my_DAT	Минимальная амплитуда `Amin
1	50000	31'h40800038	12
2	12500	31'h41000030	13
3	100000	31'h41800028	14
4	12500	31'h42000020	15
5	50000	31'h42800018	16
6	100000	31'h43000010	17
7	12500	31'h43800008	18
8	50000	31'h44000038	17
9	100000	31'h44800030	16
10	12500	31'h45000028	15
11	50000	31'h45800020	14
12	100000	31'h46000018	13
13	12500	31'h46800010	12
14	50000	31'h47000008	13
15	100000	31'h47800038	14
16	12500	31'h48000030	15
17	50000	31'h48800028	16
18	100000	31'h49000020	17
19	12500	31'h49800018	18
20	50000	31'h4A000010	19
21	100000	31'h4A800008	20

3. Задание к допуску (стоимость 2)

3.1 Начертить в тетради временные диаграммы рис.2.

3.2 Для своего варианта данных my_DAT[31:0] (см. таблицу 1) определить значение контрольного бита и начертить в тетради эскиз временных диаграмм рис.3.

3.3 Начертить в тетради схему лабораторной работы рис.5.

4. Задание к выполнению работы (стоимость 4)

4.1 В папке E:\FRTK\my_NAME\ для ПЛИС XC3S500E-5fg320 макета NEXYS-2 создать проект с именем Lab405_PADC.

4.2 Для заданного варианта параметров создать Verilog module **CONST**.

4.3 Составить схему модуля **Mes_SH_AMP** измерения амплитуды и смещения сигнала генератора Gen_MTRP трапецидальных импульсов. Выполнить синтез созданного модуля **Mes_SH_AMP**. Исправить ошибки (**Errors**), проверить важность предупреждений (**Warnings**).

4.4 Создать Verilog модуль **Sch_Test_Mes_SH_AMP** схемы моделирования работы модуля **Mes_SH_AMP** измерения смещения и амплитуды. Провести моделирование. Сравнить полученные временные диаграммы с рис.2. Определить минимальное значение AMP.

4.5 Проверить влияние изменения периода сигнала синхронизации rx_clk. на работу модуля **Mes_SH_AMP** в схеме **Sch_Test_Mes_SH_AMP**.

4.6 Создать Verilog модуль **Test_AR_RXA** схемы моделирования работы приема “слов” ARINC-429 модулем **AR_RXA**. Привести моделирование. Сравнить полученные временные диаграммы с рис.3.

4.7 Проверить влияние изменения периода сигнала синхронизации rx_clk. на работу модуля **AR_RXA** в схеме **Test_AR_RXA**.

Для сдачи лабораторной работы кроме NEXYS-2, необходимы: макет цифроаналогового преобразователя (ЦАП) DAC_R2R и макет аналого-цифрового преобразователя (АЦП) PADC, которые соединяются с NEXYS2 в соответствии с рис.5.

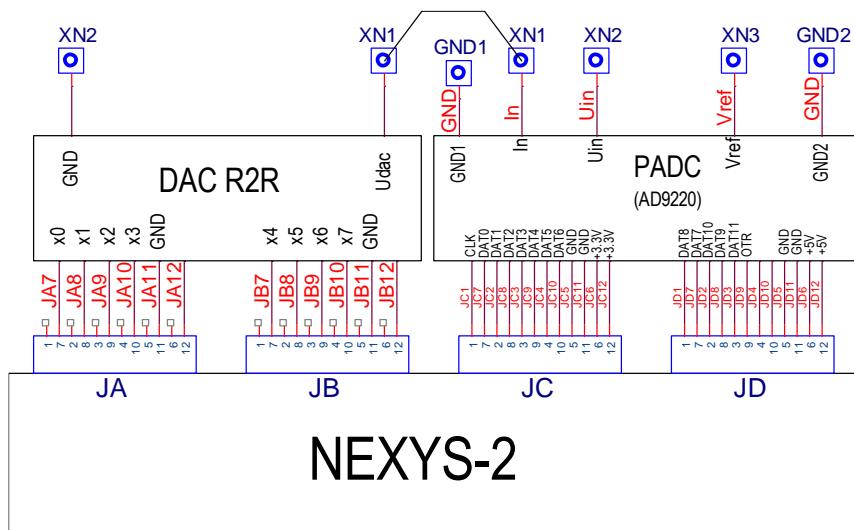


Рис.4 Схема соединения макетов ЦАП DAC_R2R и АЦП PADC с макетом NEXYS-2

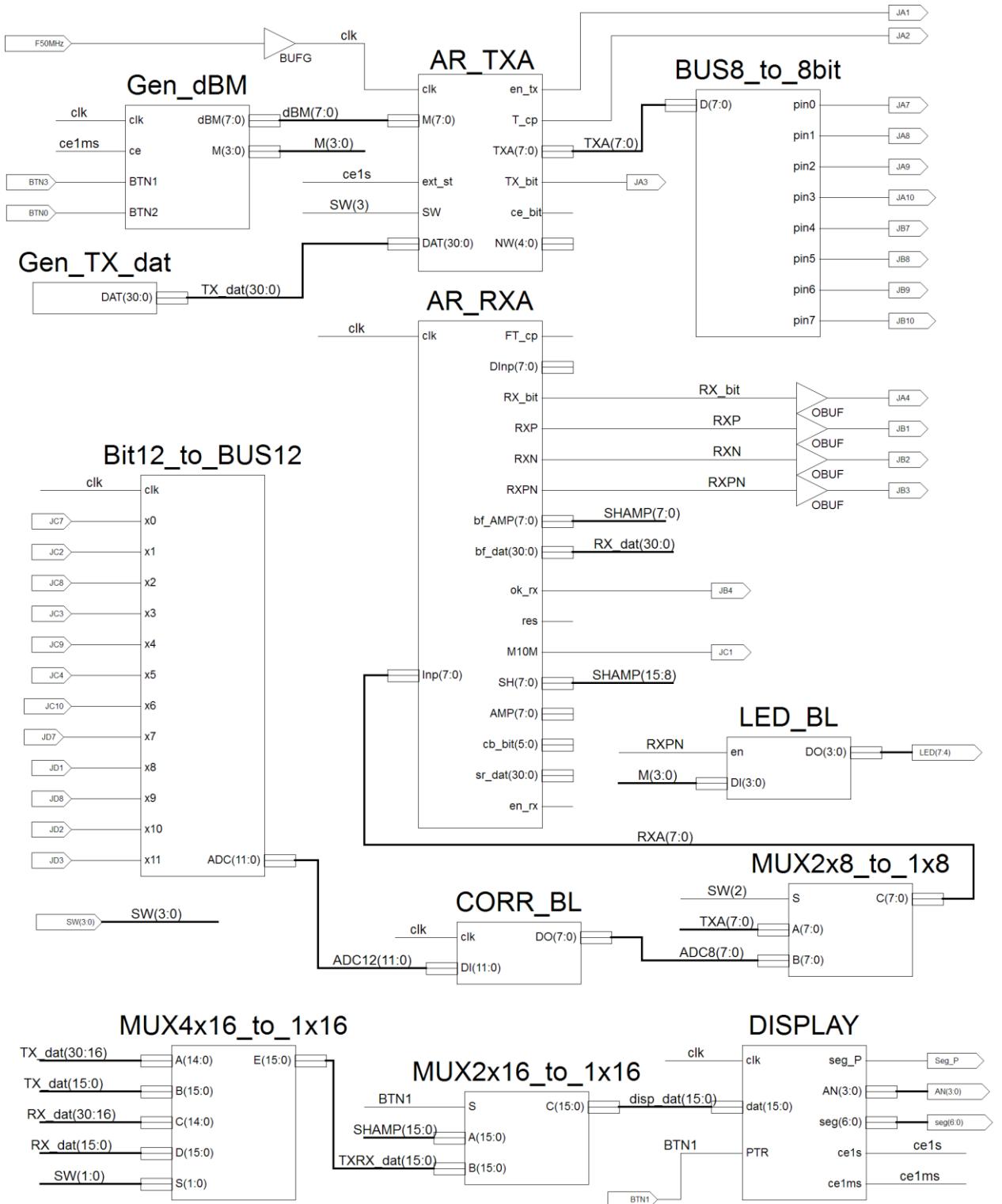


Рис.5 Схема лабораторной работы S_Sch_Lab405_PADC

В этой схеме модуль **Gen_TX_dat** должен выдавать на выходе DAT[30:0] слово своего варианта (assign DAT = `my_DAT).

Модуль **Gen_dBM** (приложение 6.1) предназначен для выдачи dBm[7:0] - множителя амплитуды, который может принимать 10 значений с шагом 3dB: (dBm=128, 91, 64, 45, 32, 23, 16, 11, 8, 6). Управление множителем осуществляется кнопками BTN3 и BTN0 макета NEXYS2 (BTN3 увеличивает, а BTN0 уменьшает dBm).

Номинально (BTN1=0) на индикаторе отображаются передаваемые или принимаемые слова, а при нажатии кнопки BTN1 отображаются измеренные смещение и амплитуда цифрового сигнала Inp[7:0] в HEX формате.

Модуль **LED_BL** (приложение 6.2) предназначен для индикации сигнала en_rx приема слов и M номера множителя dBm. Этот модуль вынуждено использует только 4 светодиода LED[7:4] потому, что в макете NEXYS2 выводы ПЛИС K14, K15, J15 и J14 используются как для светодиодов LED[3:0], так и для выводов разъема JD: JD7, JD8, JD9 и JD10, которые в этой работе “заняты” макетом PADC.

Сигнал синхронизации CLK_adc с частотой 10MHz для макета PADC параллельного АЦП вырабатывается модулем приемника AR_RXA. Максимально допустимая частота преобразования (синхронизации) используемого в макете PADC АЦП AD9220 равна 10MHz.

Модуль **MUX2x8_to_1x8** (приложение 6.3) при SW[2]=0 подает на вход приемника данные MIL_dac передатчика, а при SW[2]=1 корректированные данные MIL_adc приемника.

Модуль **CORR_BL** (приложение 6.4) согласует 12-и битную шину DAC[11:0] данных параллельного АЦП с 8-и битной шиной Inp[7:0] приемника AR_RXA.

Модуль **MUX4x16_to_1x16** (приложение 6.5) подает на вход модуля семи сегментного индикатора **DISPLAY** (приложение 6.6) при:

- SW[1:0]=2'b00 – DW_TX[15:0] (переданное слово данных),
- SW[1:0]=2'b01 – CW_TX[15:0] (переданное контрольное слово),
- SW[1:0]=2'b10 – CW_RX[15:0] (принятое контрольное слово),
- SW[1:0]=2'b00 – DW_RX[15:0] (принятое слово данных).

Выходной сигнал ce1ms модуля **DISPLAY** используется для подавления “дребезга” кнопок.

Сигнал ce1s с периодом 1 сек используется при SW[3]=1 для периодического запуска передатчика MIL_TX_DAC. Такой редкий запуск вызван тем, при связи передатчика с приемником через канал ЦАП АЦП флюктуации при большей частоте затрудняют считывание данных амплитуды и смещения с семи сегментного индикатора.

Схемы и описание макетов ЦАП DAC_R2R и АЦП PADC и модули **BUS8_to_8bit Bit12_to_BUS12** приведены в приложениях 6.7 и 6.8.

5. Задание к сдаче работы (стоимость 4)

5.1 Создать Schematic S_Sch_Lab405ADC или Verilog модуль V_Sch_Lab405ADC (см. приложение 6.9).

5.2 При работе в Schematic на листе схемы S_Sch_Lab405ADC разместить все необходимые символы и соединить их в соответствии с рис.5.

5.3 Провести Synthesize-XST созданной схемы. Исправить ошибки (**Errors**), проверить существенность замечаний (**Warnings**).

5.4 Создать Implementation Constraints File (*.ucf). Выполнить **Generate Programming File** или **Configure Target Device** (приложение 6.10).

5.5 Вставить в разъемы JA, JB ЦАП DAC_R2R, а в разъемы JC, JD параллельный АЦП PADC. Соединить выход ЦАП с входом АЦП.

5.6 Загрузить, созданную конфигурацию схемы в ПЛИС (*.bit) или в ПЗУ (*.mcs) макета NEXYS-2. Проверить при помощи осциллографа и индикатора работу макета.

5.7 Определить минимальную амплитуду при которой устойчиво формируются все 32 импульса RXP и RXN в “слово” и правильно принимаются данные. Сохранить

осцилограммы сигналов с выхода ЦАП, JA1(en_tx), JB1(RXP), JB2(RXN), JB3(RXPN).

6. Приложения

6.1 Модуль регулятора амплитуды импульсов

```
module Gen_dBM(
    input clk,      output wire[7:0] dBm,
    input ce,       output reg [3:0] M=9,
    input BTN1,
    input BTN2 );
    reg [1:0]Q1 ;
    reg [1:0]Q2 ;
    wire st1= Q1[0] & !Q1[1] ;//Фронт BTN1
    wire st2= Q2[0] & !Q2[1] ;//Фронт BTN2
    wire Mmax=(M==4'h9); //Максимальное значение M=9
    wire Mmin=(M==4'h0); //Минимальное значение M=0

    always @ (posedge clk) if (ce) begin
        Q1 <= Q1<<1 | BTN1 ;//
        Q2 <= Q2<<1 | BTN2 ;//
        M <= (!Mmax & st1)? M+1 : (!Mmin & st2)? M-1 : M ;//
    end
    assign dBm= (M==9)?128 ://128 = 0dB
        (M==8)? 91 ://128/SQRT(2) =-3dB
        (M==7)? 64 ://128/2      =-6dB
        (M==6)? 45 ://64/SQRT(2) =-9dB
        (M==5)? 32 ://64/2      =-12dB
        (M==4)? 23 ://32/SQRT(2) =-15dB
        (M==3)? 16 ://32/2      =-18dB
        (M==2)? 11 ://16/SQRT(2) =-21dB
        (M==1)? 8 ://16/2       =-24dB
        (M==0)? 6 :// 8/SQRT(2) =-27dB
        0 ;
    endmodule
```

6.2 Модуль светодиодов

```
module LED_BL(
    input en,      output [3:0] DO,
    input [3:0] DI);
    assign DO=en? 4'hF : DI ;
endmodule
```

6.3 Модуль мультиплексора **MUX2x8_to_1x8**

```
module MUX2x8_to_1x8(
    input [7:0] A, output wire [7:0] C,
    input [7:0] B,
    input S);
assign C=S? A : B ;
endmodule
```

6.4 Модуль **CORR_BL** согласования данных АЦП ЦАП

```
module CORR_BL(
    input [11:0] DI, output reg[7:0] DO,
    input clk);
//SHadc=4096*1.65V/5.00V=1352; SH=128; k=SH/Shadc=128/1352=0.0947
parameter Mk=6206 ; // (Mk=k*2^16=6206)
wire [24:0]MDI=DI*Mk ;
always @ (posedge clk) begin
DO <= MDI>>16 ;
end
endmodule
```

В модулях PADC (АЦП) и DAC_R2R (ЦАП) используются разные опорные напряжения REF_{ADC} PADC это 5V, а REF_{DAC} DAC_R2R это 3.3V. Поэтому простым отбрасыванием 4-х младших разрядов ADC, т.е. делением на 16 не обойтись. Надо учитывать и неодинаковость опорных напряжений.

Напряжение U_{out} на выходе DAC_R2R $U_{out} = \frac{DAC}{256} REF_{DAC} = \frac{DAC}{256} 3.3V$ при $DAC=SH=128$ равно 1.65V.

При таком напряжении на входе АЦП число $ADC = \frac{U_{in}}{REF_{ADC}} 4096 = \frac{1.65V}{5V} 4096 = 1352$ а для приемника такому напряжению смещения должно соответствовать число 128. Поэтому число ADC надо умножить не на 1/16, а на $k=128/1352=0.0947$. Эта операция и выполняется в модуле **CORR_BL**

6.5 Модуль **MUX4x16_to_1x16**

```
module MUX4x16_to_1x16(
    input [14:0] A, output wire [15:0] E,
    input [15:0] B,
    input [14:0] C,
    input [15:0] D,
    input [1:0] S );
assign E= (S==2'b00)? {1'b0,A} :
(S==2'b01)? B :
(S==2'b10)? {1'b0,C} : D ;
endmodule
```

6.6 Модуль семи сегментного индикатора

```
module DISPLAY( input clk, output wire[3:0] AN, //Аноды
```

```

    input [15:0]dat,  output wire [6:0] seg, //Сегменты
    input PTR,       output wire seg_P, //Точка
                      output wire ce1s); //1 секунда

parameter Fclk=50000 ; //50000 kHz
parameter F1kHz=1 ; //1 kHz
wire [1:0]ptr_P = !PTR? 2'b10 : //Точка в центре
                     2'b11 ; //Точка слева
reg [15:0] cb_1ms = 0 ;
wire ce = (cb_1ms==Fclk/F1kHz) ;
reg [9:0]cb_1s=0 ;
assign ce1s = (cb_1s==1000) & ce ;

//--Генератор сигнала ce (период 1 мс, длительность Tclk=20 нс)--
always @ (posedge clk) begin
cb_1ms <= ce? 1 : cb_1ms+1 ;
cb_1s <= ce1s? 1 : ce? cb_1s+1 : cb_1s ;
end

//----- Счетчик цифр -----
reg [1:0]cb_dig=0 ;
always @ (posedge clk) if (ce) begin
    cb_dig <= cb_dig+1 ;
end

//-----Переключатель «анодов»-----
assign AN = (cb_dig==0)? 4'b1110 : //включение цифры 0 (младшей)
              (cb_dig==1)? 4'b1101 : //включение цифры 1
              (cb_dig==2)? 4'b1011 : //включение цифры 2
              4'b0111 ; //включение цифры 3 (старшей)

//-----Переключатель тетрад (HEX цифр)-----
wire[3:0] dig =(cb_dig==0)? dat[3:0]:
                (cb_dig==1)? dat[7:4]:
                (cb_dig==2)? dat[11:8]: dat[15:12];

//-----Семисегментный дешифратор-----
//gfedcba

assign seg= (dig== 0)? 7'b1000000 ://0   a
            (dig== 1)? 7'b1111001 ://1 f| b
            (dig== 2)? 7'b0100100 ://2   g
            (dig== 3)? 7'b0110000 ://3 e|   c
            (dig== 4)? 7'b0011001 ://4   d
            (dig== 5)? 7'b0010010 ://5
            (dig== 6)? 7'b0000010 ://6
            (dig== 7)? 7'b1111000 ://7
            (dig== 8)? 7'b0000000 ://8
            (dig== 9)? 7'b0010000 ://9
            (dig==10)?7'b0001000 ://A

```

```

(dig==11)? 7'b00000011 ://b
(dig==12)? 7'b1000110 ://C
(dig==13)? 7'b0100001 ://d
(dig==14)? 7'b00000110 ://E
    7'b0001110 ;//F

```

//-----Указатель точки-----

```

assign seg_P = !(ptr_P == cb_dig) ;
endmodule

```

6.7 Цифроаналоговый преобразователь

6.7.1 Модуль «расщепления» шины DAC[7:0] цифроаналогового преобразователя

```

module BUS8_to_8bit(
    input [7:0]D,
        output wire pin0,
        output wire pin1,
        output wire pin2,
        output wire pin3,
        output wire pin4,
        output wire pin5,
        output wire pin6,
        output wire pin7);

```

```

assign pin0=D[0], pin1=D[1], pin2=D[2], pin3=D[3];
assign pin4=D[4], pin5=D[5], pin6=D[6], pin7=D[7];

```

endmodule

6.7.2 Макет цифроаналогового преобразователя DAC_R-2R

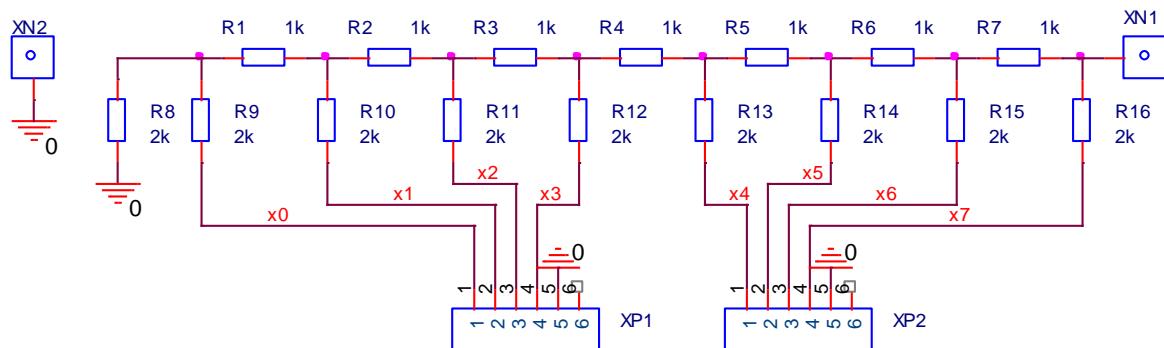


Рис. 5 Схема цифроаналогового преобразователя R-2R

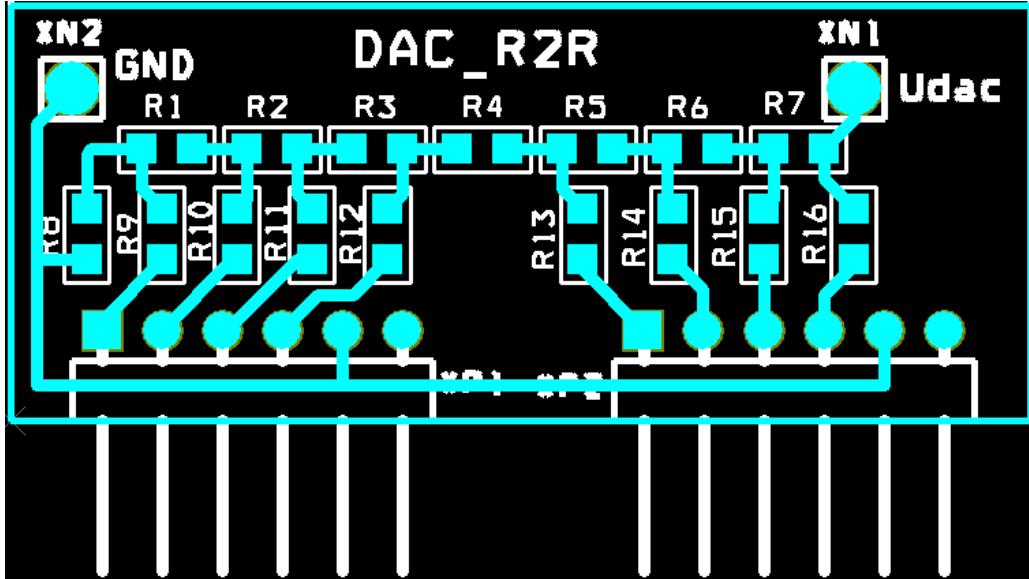


Рис. 6 Лицевая сторона платыцифроаналогового преобразователя DAC_R-2R

6.8 Параллельныйаналого-цифровой преобразователь

6.8.1 Модуль «упаковки» сигналов AD0,...AD11 параллельного АЦП в шину DAT[11:0]

```
module Bit12_to_BUS12(
    input clk,    output reg [11:0] DAT=0,
    input x0,
    input x1,
    input x2,
    input x3,
    input x4,
    input x5,
    input x6,
    input x7,
    input x8,
    input x9,
    input x10,
    input x11);
    always @ (posedge clk) begin
        DAT= {x11,x10,x9,x8,x7,x6,x5,x4,x3,x2,x1,x0} ;
    end
endmodule
```

6.8.2 Макет PADC параллельного АЦП

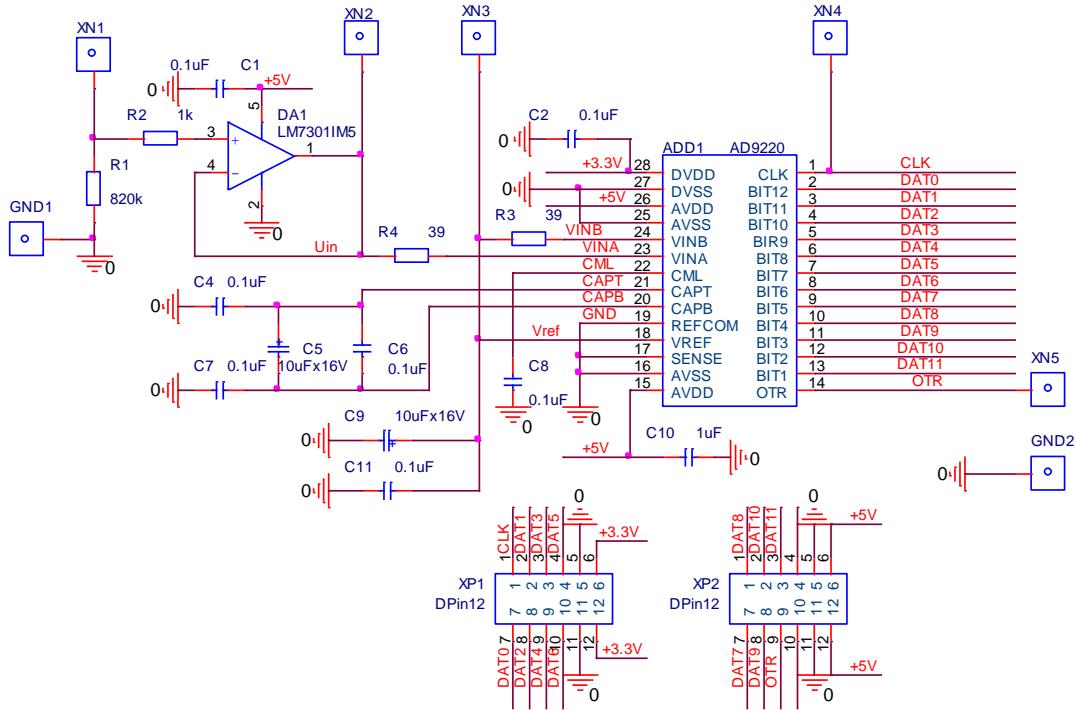


Рис. 7 Схема параллельного аналого-цифрового преобразователя

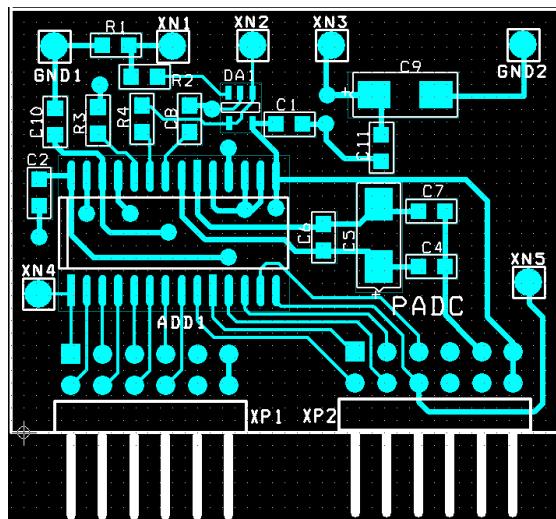


Рис. 8 Лицевая сторона печатной платы параллельного аналого цифрового преобразователя

Модуль согласования 12-и битной шины DAT[11:0] данных параллельного АЦП с 8-и битной шиной Inp[7:0] приемника AR_RXA.

6.9 Verilog модуль лабораторной работы

```

`include "CONST.v"
module V_Sch_Lab405ADC(
    input F50MHz,
    input [3:0]SW,
    input BTN3, //Увеличение М
    input BTN1, //Переключение индикации данных

```

```

    input BTN0, //Уменьшение М
//---Выводы передающего модуля для ЦАП R2R
    output wire JA7,//DAC[0]
    output wire JA8,//DAC[1]
    output wire JA9,//DAC[2]
    output wire JA10,//DAC[30]
    output wire JB7,//DAC[4]
    output wire JB8,//DAC[5]
    output wire JB9,//DAC[6]
    output wire JB10,//DAC[7]
//---Контрольные выводы передающего модуля
    output wire JA1,//en_tx,
    output wire JA2,//T_cp,
    output wire JA3,//TX_bit
    output wire JA4,//RX_bit
//---Выводы приемного модуля
    output wire JB1,//RXP
    output wire JB2,//RXN
    output wire JB3,//RXPN
    output wire JB4,//ok_rx
    output wire [7:4]LED,//Индикатор М
//---Выводы параллельного АЦП
    output wire JC1,//ADC_clk
    input JD3, //ADC_dat[11]
    input JD2, //ADC_dat[10]
    input JD8, //ADC_dat[9]
    input JD1, //ADC_dat[8]
    input JD7, //ADC_dat[7]
    input JC10, //ADC_dat[6]
    input JC4, //ADC_dat[5]
    input JC9, //ADC_dat[4]
    input JC3, //ADC_dat[3]
    input JC8, //ADC_dat[2]
    input JC2, //ADC_dat[1]
    input JC7, //ADC_dat[0]

//----Выводы семисегментного индикатора
    output wire [3:0] AN, //Аноды
    output wire [6:0] seg, //Сегменты
    output wire seg_P); //Точка

//---Данные параллельного АЦП ADC920
wire [11:0]ADC_dat = {JD3,JD2,JD8,JD1,JD7,JC10,JC4,JC9,JC3,JC8,JC2,JC7};//
//-----
wire clk, ce1s, ce1ms ;

//--Глобальный буфер сигнала синхронизации
BUFG DD1 (.I(F50MHz), .O(clk));

//--Регулятор амплитуды

```

```

wire [7:0]dBm ; wire [3:0]M ;
Gen_dBm DD2 (.clk(clk),      .dBm(dBm),
               .ce(ce1ms),   .M(M),
               .BTN1(BTN0),
               .BTN2(BTN3));

//--Светодиодный блок
LED_BL DD3 (.en(RXPN), .DO(LED),
             .DI(M));

//---Генератор импульсов формата ARINC-429
wire [7:0]TXA ; wire [30:0]TX_dat=`my_DAT ;
AR_TXA DD4 (.clk(clk),      .TXA(TXA),
               .M(dBm),        .TX_bit(JA3),
               .DAT(TX_dat),   .en_tx(JA1),
               .ext_st(ce1s),  .T_cp(JA2),
               .SW(SW[3]));

//-- Выходы генератора AR_TXA для ЦАП R-2R
BUS8_to_8bit DD5 (.D(TXA), .pin0(JA7),
                   .pin1(JA8),
                   .pin2(JA9),
                   .pin3(JA10),
                   .pin4(JB7),
                   .pin5(JB8),
                   .pin6(JB9),
                   .pin7(JB10));

//--Модуль согласования данных АЦП ЦАП
wire [7:0]ADC8 ;
CORR_BL DD6 (.DI(ADC_dat),  .DO(ADC8),
              .clk(clk));

//--Приемный блок -----
wire [7:0]RXA = SW[2]? ADC8 : TXA ;
wire [30:0]RX_dat ; wire [15:0]SHAMP ;
AR_RXA DD7 (
    .Inp(RXA),   .SH(SHAMP[15:8]),      //Смещение
    .clk(clk),    .bf_AMP(SHAMP[7:0]), //Амплитуда импульсов в кадре
               .RXP(RXP), //Выход компаратора положительных импульсов
               .RXN(RXN), //Выход компаратора отрицательных импульсов
               .RXPN(RXPN), //RXPN=(RXP | RXN)
               .RX_bit(JA4),//Бит слова
               .ok_rx(JB4),//Есть прием "слова"
               .bf_dat(RX_dat),//Принятые данные "слова"
               .M10M(JC1));//Сигнал дискретизации АЦП PADC);

assign JB1= RXP;//Выход компаратора положительных импульсов
assign JB2= RXN;//Выход компаратора отрицательных импульсов
assign JB3= RXPN;//

```

```

//--Мультиплексор данных для индикатора
wire [15:0]TXRX_dat= (SW[1:0]==0)? {1'b0,TX_dat[30:16]} :
(SW[1:0]==1)? TX_dat[15:0] :
(SW[1:0]==3)? {1'b0,RX_dat[30:16]} :
RX_dat[15:0] ;

wire [15:0]DISP_dat= BTN1? SHAMP[15:0] : TXRX_dat ;
//--Семи сегментный светодиодный индикатор
DISPLAY DD8 (.clk(clk), .AN(AN), //Аноды
.dat(DISP_dat), .seg(seg), //Сегменты
.PTR(BTN1), .seg_P(seg_P), //Точка
.ce1ms(ce1ms), //1ms
.ce1s(ce1s)); //Секунда
endmodule

```

6.10 Связь портов схемы с контактными площадками ПЛИС (файл *.ucf)

```
NET "F50MHz" LOC = "B8" ; #clk
```

```

NET "AN<0>" LOC = "F17" ;
NET "AN<1>" LOC = "H17" ;
NET "AN<2>" LOC = "C18" ;
NET "AN<3>" LOC = "F15" ;

```

```

NET "BTN0" LOC = "B18" ;
NET "BTN1" LOC = "D18" ;
#NET "BTN2" LOC = "E18" ;
NET "BTN3" LOC = "H13" ;

```

```

NET "seg<0>" LOC = "L18" ;
NET "seg<1>" LOC = "F18" ;
NET "seg<2>" LOC = "D17" ;
NET "seg<3>" LOC = "D16" ;
NET "seg<4>" LOC = "G14" ;
NET "seg<5>" LOC = "J17" ;
NET "seg<6>" LOC = "H14" ;
NET "seg_P" LOC = "C17" ; #DOT

```

```

NET "SW<0>" LOC = "G18" ; #
NET "SW<1>" LOC = "H18" ; #
NET "SW<2>" LOC = "K18" ; #
NET "SW<3>" LOC = "K17" ; #
#NET "SW<4>" LOC = "L14" ; #
#NET "SW<5>" LOC = "L13" ; #
#NET "SW<6>" LOC = "N17" ; #
#NET "SW<7>" LOC = "R17" ; #

```

```

#NET "LED0" LOC = "J14" ; #
#NET "LED1" LOC = "J15" ; #
#NET "LED2" LOC = "K15" ; #

```

```

#NET "LED3" LOC = "K14" ; #
NET "LED4" LOC = "E17" ; #
NET "LED5" LOC = "P15" ; #
NET "LED6" LOC = "F4" ; #
NET "LED7" LOC = "R4" ; #

#NET "TXD" LOC = "P9" ;
#NET "RXD" LOC = "U6" ;

NET "JA1" LOC = "L15" ; # en_tx
NET "JA2" LOC = "K12" ; # T_cp
NET "JA3" LOC = "L17" ; #TX_bit
NET "JA4" LOC = "M15" ; #RX_bit
NET "JA7" LOC = "K13" ; # DAC[0]
NET "JA8" LOC = "L16" ;# DAC[1]
NET "JA9" LOC = "M14" ;# DAC[2]
NET "JA10" LOC = "M16" ;# DAC[3]

NET "JB1" LOC = "M13" ;# RXP
NET "JB2" LOC = "R18" ;# RXN
NET "JB3" LOC = "R15" ;# RXP | RXN
NET "JB4" LOC = "T17" ;# ok_rx
NET "JB7" LOC = "P17" ;# DAC[4]
NET "JB8" LOC = "R16" ;# DAC[5]
NET "JB9" LOC = "T18" ;# DAC[6]
NET "JB10" LOC = "U18" ;# DAC[7]

NET "JC1" LOC = "G15" ;# ADC_clk
NET "JC2" LOC = "J16" ;#ADC_dat[1]
NET "JC3" LOC = "G13" ;# ADC_dat[3]
NET "JC4" LOC = "H16" ;# ADC_dat[5]
NET "JC7" LOC = "H15" ;# ADC_dat[0]
NET "JC8" LOC = "F14" ;# ADC_dat[2]
NET "JC9" LOC = "G16" ;# ADC_dat[4]
NET "JC10" LOC = "J12" ;# ADC_dat[6]

NET "JD1" LOC = "J13" ;# ADC_dat[8]
NET "JD2" LOC = "M18" ;# ADC_dat[10]
NET "JD3" LOC = "N18" ;# ADC_dat[11]
#NET "JD4" LOC = "P18" ;#
NET "JD7" LOC = "K14" ;# ADC_dat[7]
NET "JD8" LOC = "K15" ;# ADC_dat[9]
#NET "JD9" LOC = "J15" ;#
#NET "JD10" LOC = "J14" ;#

```