

1 设计结果验证

本章节主要根据各个层级的相关设计要求给出具体的各个模块设计仿真、综合结果。主要包含几个部分的模块，8B/10B 解码器模块，码群同步模块，初始化帧同步和初始化 lane 同步模块，数据流控制模块。

1.1 8B/10B 解码器

1.1.1 仿真

设计完整功能的 8B/10B 解码器仿真结果如图 1 所示。

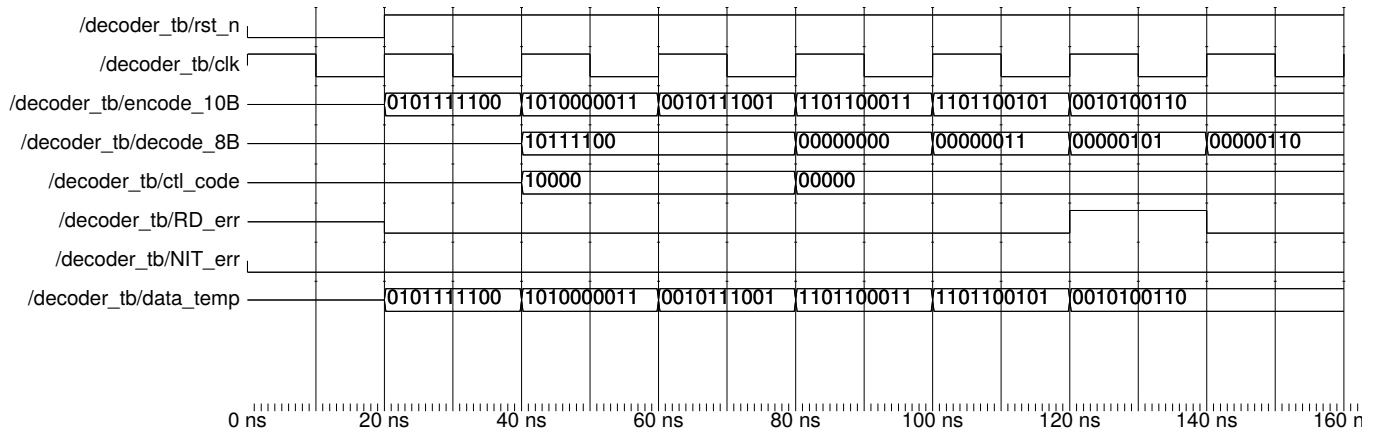


图 1: 8B/10B 解码器仿真结果

可以看到，在复位信号启动后，输入端口收到了一系列的 10B 数据，并对这 10B 数据进行解码。第一个接收到的数据为/K28.5/的 10B 编码，并且是极性呈正极性。由于协议规定，8B/10B 解码器初始的极性状态规定为负极性，所以最初传入的 10B 正极性数据并不会引起极性错误。输入和输出之间由于有处理时延，所以通过时钟划定了一个 octet 时钟周期的时延。第一个解码来的字符是/K28.5/，在 ctl_code 端口可以看到编码为 10000，其中置高的一位即表示/K/控制字符。由于是控制字符，输出的具体解码数据并不重要。第二个收到的字符也为/K28.5/的 10B 编码，不过由于之前一个 10B 编码表现为正极性，而此次收到的 10B 编码为负极性，并不会引起极性错误。第二个字符的解码输出同第一个字符的解码输出，此时接收端极性为负极性。第三个字符不再是控制字符，而是数据字符/D0.0/并且是一个中性极性的编码，并不改变当前极性，解码输出为 00000000，解码正确。第四个字符是数据字符/D3.0/，这是一个正极性的编码，与本地极性相反所以不会发生极性错误，本地极性翻转为正极性，解码输出为 00000011，解码正确。第五个字符是数据字符/D5.0/，这也是一个正极性的编码，与本地极性相同，所以接收端在此时 RD_err 信号置高，表示发生极性错误，本地极性以刚接收到的数据极性为准，保持正极性，解码输出为 00000101，解码正确。由此可见，解码的正确与否与极性是否正确没有直接关系，极性错误并不会直接导致解码错误。第六个字符是数据字符/D6.0/，这是一个负极性的编码，与本地极性相反，所以没有发生极性错误，解码输出为 00000110，解码正确。

在这 6 个字符的测试序列中基本展示了 8B/10B 解码器的基本功能，包括了解码、极性错误判断和控制字符判断。基本功能测试基本已经实现。

1.1.2 综合

综合过程一般分为四步：设定工艺库、读入 RTL 设计、进行综合、输出报告。Linux 下的 DC 可以通过 GUI 界面和命令行进行综合。读入设计后可以通过 GUI 观察详细的门电路级电路，使用的器件既为器件库中所包含的器件。

综合完成后就可以得到详细的综合报告。比较有价值的即面积报告、时序报告和功耗报告。其中面积报告可以将每个子模块占用的面积总结出来，单位为平方微米 (μm^2)；时序报告会找到耗时最长的路径以表示电路最高的工作速度，单位为纳秒 (ns)；功耗报告即整体的功率损耗，单位为纳瓦 (nW)。

表 1 详细比较了几种设计，其中括号里面的比例均为和新设计比较的比例，即视新设计具体之为 100%。

表 1: 综合具体结果比较

设计 项目	Classic	Actel	New
RD Cal Area(μm^2)		665(99%)	675
4B/3B Area(μm^2)		369(148%)	249
6B/5B Area(μm^2)		1184(172%)	688
Sum Area(μm^2)	1570(97%)	2218(138%)	1612
Total Cell Area(μm^2)	1716(98%)	2657(151%)	1759
Total Area(μm)	16836(107%)	24497(156%)	15666
Timing(ns)	8.16	9.97	9.54
Time Used(ns)	5.84	4.03	4.46
Frequency(MHz)	171.2(76%)	248.1(111%)	224.2
Cell Internal Power(nW)	22.6(83%)	31.0(114%)	27.2
Net Switing Power(nW)	42.8(80%)	50.1(94%)	53.3
Total Dynamic Power(nW)	65.4(81%)	81.1(101%)	80.5

相较于 Actel 方法，新设计在频率上有 11% 的减少，但是在面积上，无论是单元面积还是总面积都减少了近 50% 的提升。两者在功耗上几乎相同。相较于传统方法，新设计在频率上有近 25% 的提升，在单元面积上几乎相同，在总面积上减少了 7%。但是在功耗上有近 20% 的差距。

1.2 码群同步

1.2.1 仿真

设计完整功能的码群同步仿真结果如图 2所示。

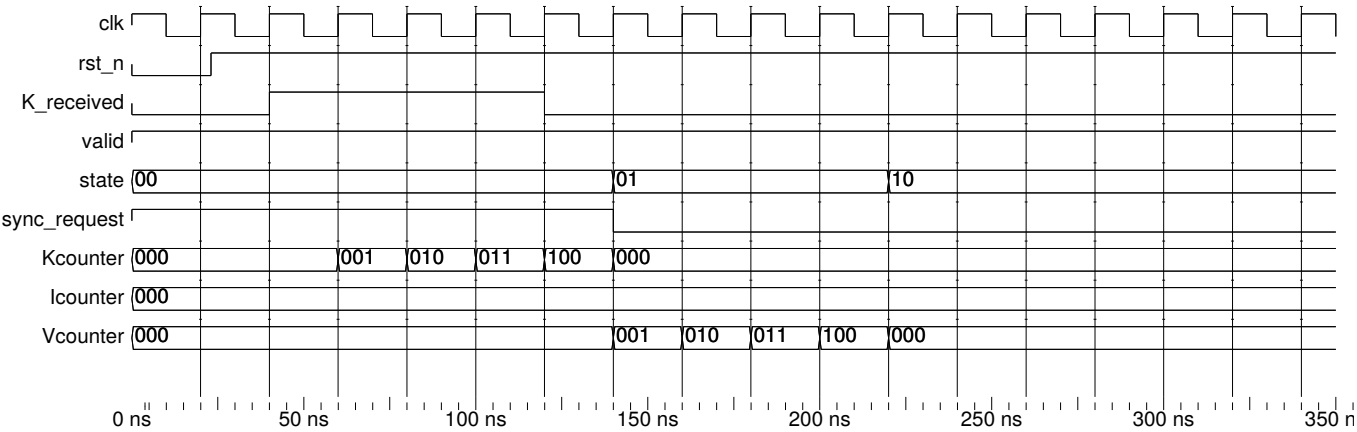


图 2: 码群同步仿真结果

以上结果是一次正常接收/K/字符的码群同步检测，可以很清楚地看到状态机状态的跳转。输入信号 K_received 表示正确收到一个/K/字符，输入信号 valid 表示对应字符是有效的字符。输出信号 state 即为状态机的输出，可以发现在默认情况下，state 以 00 表示，即为 CS_INIT 状态。在连续收到 4 个/K/字符后，Kcounter 记到 100，并在下一个周期状态机跳转到了 01 状态，即为 CS_CHECK 状态。之后又收到了 4 个 valid 的字符后，虽然不一定是/K/字符，但是 Vcounter 记到 100，状态机在下一个周期跳转到了 10 状态，即为 CS_DATA 状态。实际上，在 CS_CHECK 状态和 CS_DATA 状态，码群同步已经完成，设置 CS_CHECK 状态的主要目的就是在收到过多的 invalid 字符后需要回到 CS_INIT 状态重新进行码群同步。通知发送端的 SYNC 信号改变就需要码群同步状态机提供的 sync_request 信号。

1.2.2 综合

表 2所示的是码群同步模块的综合结果，分析可以发现，单个 lane 的码群同步有限状态机可以工作在 1GHz 左右的频率下，比特速率大约为 8GHz。

表 2: 码群同步模块综合具体结果

设计 项目	码群同步
Total cell Area(μm^2)	1586
Total Area(μm)	10033
Timing(ns)	8.97
Time Used(ns)	0.91
Frequency(MHz)	1098
Cell Internal Power(nW)	103.6
Net Switing Power(nW)	15.5
Total Dynamic Power(nW)	119.0

1.3 初始化帧同步及初始化 lane 同步

1.3.1 仿真

设计完整功能的初始化帧同步模块仿真结果如图 1所示。

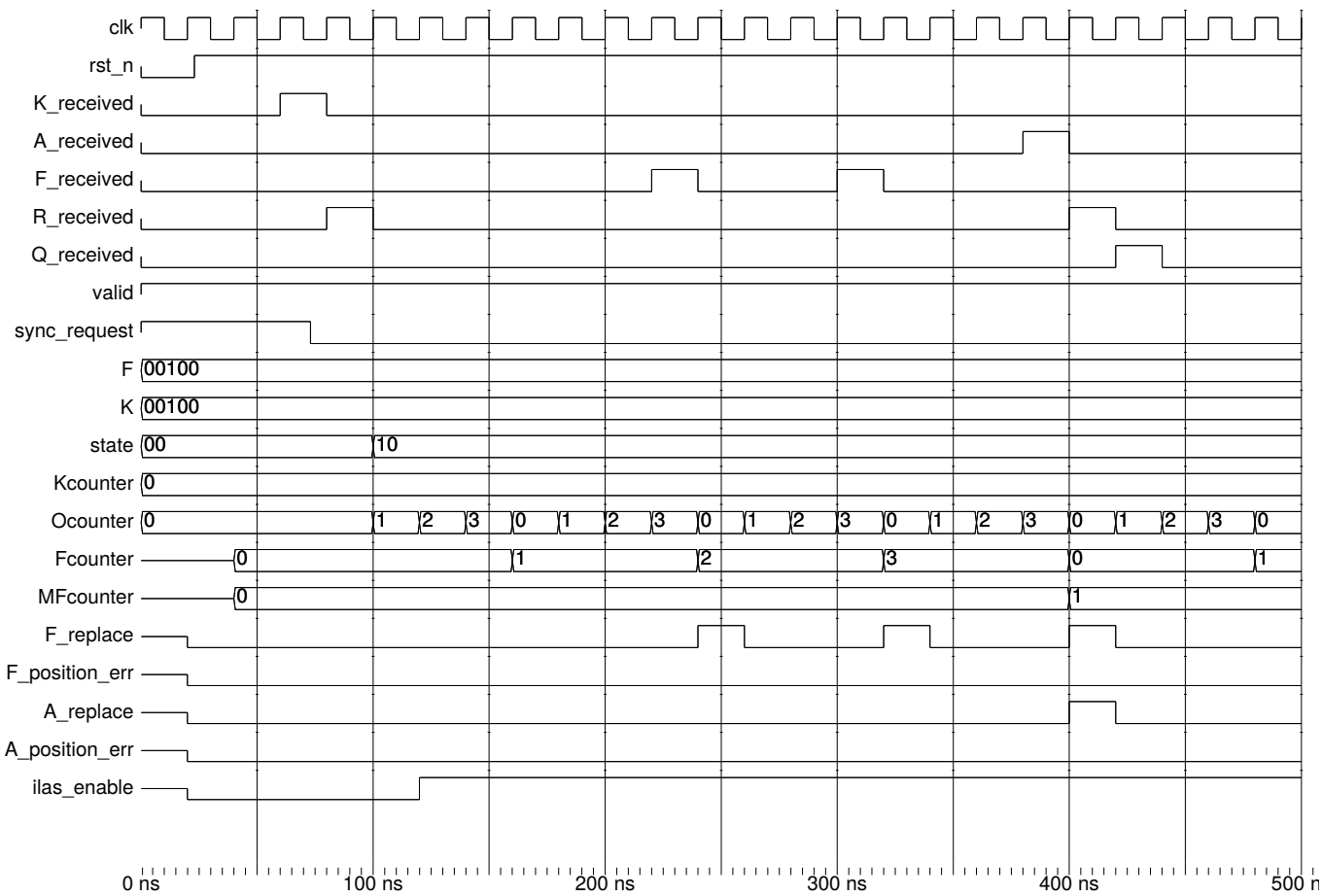


图 3: 始化帧同步模块仿真结果

以上结果是一次正确的初始化帧同步阶段的仿真结果。由于篇幅原因，将 ILAS 检测也融合到了本次结果中。接收到的信号为控制字符的指示信号，如果不是这五个信号中的一个则为数据信号。本次仿真的 K 参数，即多帧中的帧数为 4，F 参数，即帧中的 octet 数为 4。可以发现，当复位信号结束后，Ocounter 开始以 4 计数，由 Fcounter 和 MFcounter 可以标识出具体的 octet 在数据流中的位置。当在帧尾位置收到/F/字符，则会触发 F_replace 信号，表示需要替换该字符为上一个帧的数据字符。当在多帧尾位置收到/A/字符，则会触发 A_replace 信号，表示需要替换该字符为上一个帧的数据字符。MFcounter 在收到 4 个帧后发生累加，说明 4 个帧组成一个多帧。由于 ILAS 需要持续 4 个多帧周期，所以在本图中无法体现。

设计完整功能的数据流处理模块仿真结果如图 4所示。

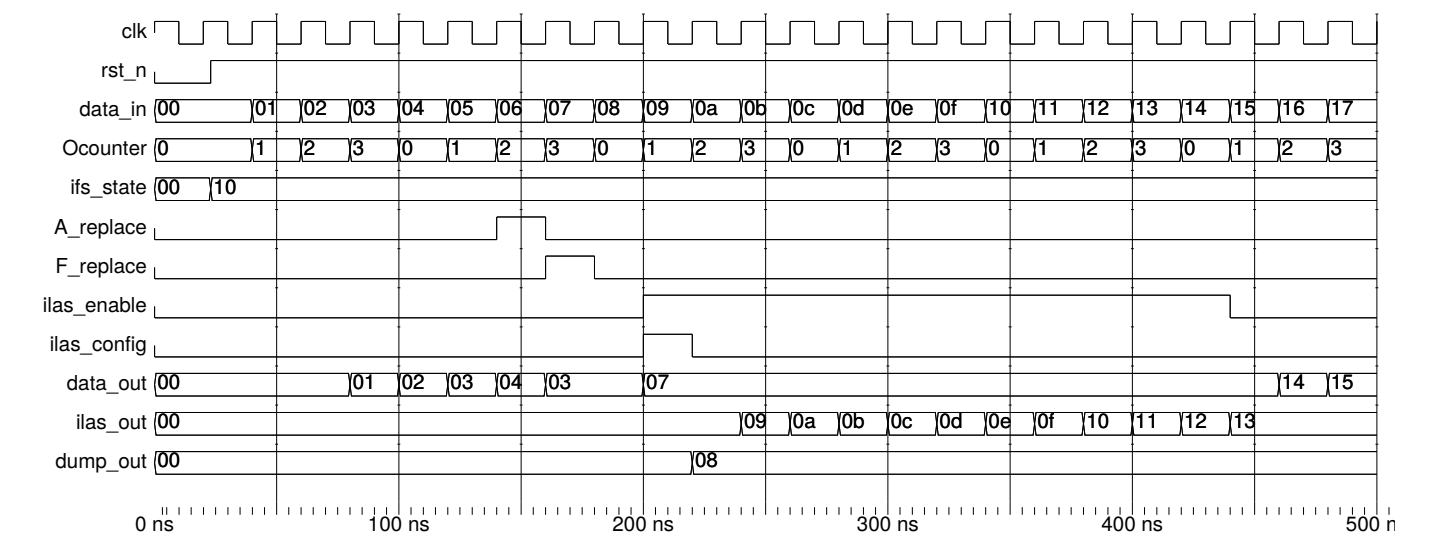


图 4: 数据流处理模块仿真结果

本设计采用的是控制流与数据流分离的设计思路，控制流由之前图 3所示的状态机模块实现。而本数据流接收模块根据状态机给出的控制信息对数据字符进行替换并选择输出路径。ILAS 数据通过 ilas_out 传输到 ILAS 处理模块，对配置信息进行提取，其控制信号为 ilas_enable 信号，当该信号为高电平时，说明该数据流上目前为 ILAS 配置信息。当收到 A_replace 和 F_replace 信号时，输出的信号会进行替换，将上一帧最后一个字符替换到控制字符，以保证输出数据的正确。

最后将初始化帧同步、初始化 lane 同步和数据流模块级联仿真结果如图 5所示。

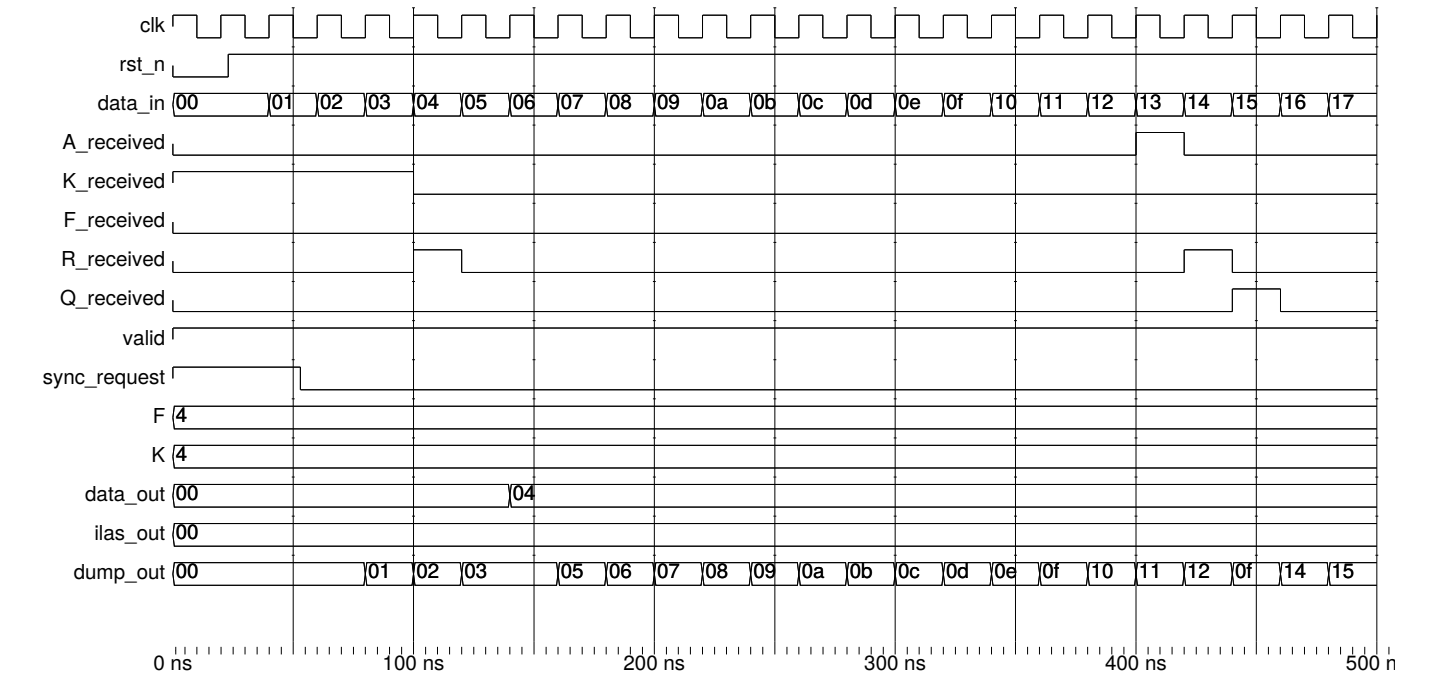


图 5: 级联仿真结果

由于版面限制，只能展示其中一部分信号，模块模拟了完成码群同步后，根据具体信号控制信息的输入，对信号的分配情况。初始化帧同步首先就是收到了/R/字符表示进入了 ILAS 序列传输阶段，并检测到一个多帧的最后存在一个/A/字符，根据替换规则，会将该字符替换为上一帧最后一个字符 0x0f。但由于这仍处在 ILAS 阶段，所以配置信息的字符都会视作无效字符，由 dump_out 直接输出，不进入之后的模块。

1.3.2 综合

表 3所示的是始化帧同步及初始化 lane 同步模块的综合结果，分析可以发现，单个 lane 的码群同步有限状态机可以工作在 163MHz 左右的频率下，比特速率大约为 1.3GHz。对数据流处理模块分析发现，单个 lane 可达到的工作频率为 502MHz，比特速率大约为 4GHz。

表 3: 模块综合具体结果

设计 项目	初始化帧同步及初始化 lane 同步模块	数据流控制模块
fa check Area(μm^2)	1077	
ifs fsm Area(μm^2)	6077	
ilas check Area(μm^2)	76	
la check Area(μm^2)	1067	
Total cell Area(μm^2)	8718	4966
Total Area(μm)	51885	23819
Timing(ns)	3.71	7.96
Time Used(ns)	6.15	1.99
Frequency(MHz)	162.6	502.5
Cell Internal Power(nW)	428.8	435.4
Net Switing Power(nW)	96.8	55.5
Total Dynamic Power(nW)	535.6	490.9