



IMAGINATION大學計劃

# RVfpga實驗7

## 7段顯示器

## 1. 簡介

本實驗將介紹如何擴展RVfpga系統以便與7段顯示器配合使用，還示範了如何修改7段顯示器控制器。Nexys A7 FPGA開發板8個7段顯示器。我們首先介紹其工作原理（第2節），然後分析RVfpga系統中包含的8位7段顯示器控制器的高階規格並提供一些基本練習（第3節和第4節）。最後分析該控制器的低階實作，執行Verilator模擬並提供其他練習，您將在這些練習中修改和測試該控制器的實作（第5節和第6節）。

## 2. NEXYS A7開發板上的7段顯示器

Nexys A7開發板包含兩個4位共陽極7段LED顯示器<sup>1</sup>，經配置可用作單一8位7段顯示器（請參閱圖1）。八位數字中的每一位都由七個段組成，這七個段以「圖形8」模式排列（請參閱圖2），每一段都有一個LED。其中的每一段都可以點亮或熄滅，因此通過點亮某些LED段並熄滅其他段，一位數字上可以顯示128種模式中的任何一種；具體來說，在這128種模式中，可以顯示十進位數字，如圖2所示。

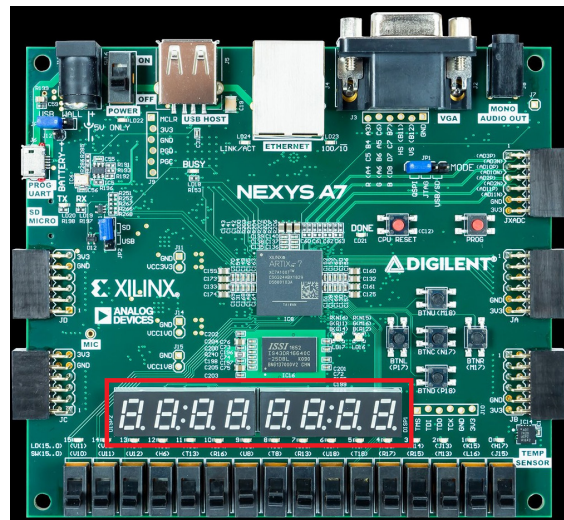


圖1. Nexys A7上的8位7段顯示器

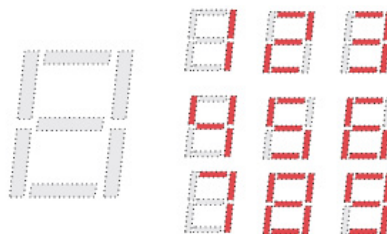
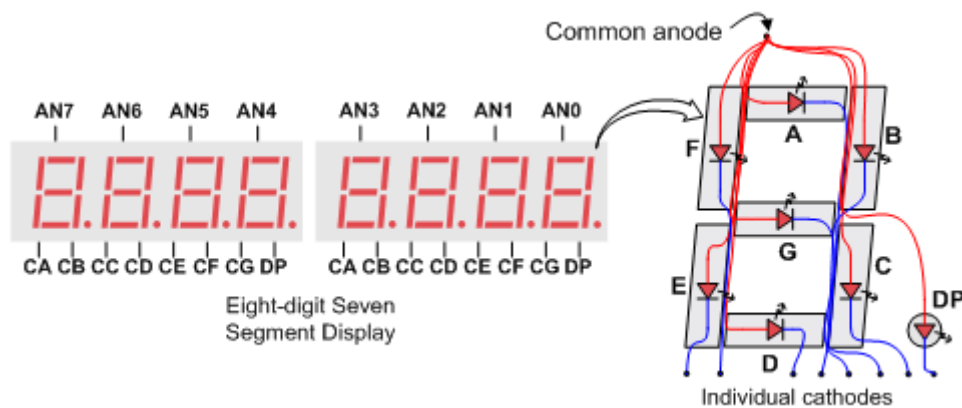


圖2. 對應於十進位數字的模式

<sup>1</sup>以下位址介紹了本部分中的資訊：

<https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/nexys-a7/reference-manual>

一位數字的LED段標記為A-G，如圖3右側所示。每一位的七個LED的陽極連接到同一個「共陽極」電路節點，但LED陰極保持分離（請參閱圖3）。八個共陽極訊號用作「數字啟用」，每位數字（AN0-AN7）對應一個共陽極訊號。所有八位數字的同一個段的陰極連接到CA-CG這七個訊號（請參閱圖3）。（請注意，第八個訊號對應於十進位小數點DP，但本實驗中不會使用它。）例如，八位數字的D段的陰極分組到稱為CD的同一個電路節點中。這種訊號連接方案構成了一個多工顯示器，其中陰極訊號是所有數字通用的，但它們只能將對應陽極訊號置為有效的數欄位點亮。所有這些訊號在有效時都會被驅動為低電平；因此，要點亮某個段（例如第2位數字的D段），陽極AN2和陰極CD都必須驅動為低電平。



**圖3. Nexys A7上的8位7段顯示器的連接**

掃描顯示控制器電路可用於在8位7段顯示器上顯示8位數字。該電路以人眼無法偵測到的更新速率連續不斷地驅動每位數字的陰極；同時，電路一次驅動一個陽極。因此，每位數字僅有八分之一的時間被點亮，但是，由於人眼無法在某位數字再次點亮之前感知到其變暗，因此該位數字看起來是連續點亮的。

為了使8位數字中的每一位看起來都顯得明亮並且持續點亮，應當每隔1到16 ms驅動一次全部8位數字，並且每位數字應點亮1/8的重新整理週期（例如，對於16 ms的重新整理週期，每位數字應點亮2 ms）。如上文所述，控制器必須以正確的模式將某位數字的陰極驅動為低電平，同時將相應的陽極訊號也驅動為低電平。但是，由於Nexys A7使用NPN晶體管將足夠的電流驅動到共陽極點，故此陽極啟用訊號會反轉。因此，AN0...7和CA...G/DP訊號在有效時被驅動為低電平。

為了說明該程序，假設您要在最右邊的兩個數字上顯示71。控制器電路會在前2 ms將AN0、CB和CC驅動為低電平，從而在最右邊的一位數字上顯示1，然後，在接下來的2 ms將AN1、CA、CB和CC驅動為低電平，從而在下一個最高有效數字上顯示7。如果此程序無限重複，人眼將在最右邊的兩位數字上看到71。

### 3. 8位7段顯示器控制器的高階規格

在本節中，我們首先說明和分析RVfpga系統中使用的8位7段顯示器控制器的高階規格，然後提供使用它的練習。

#### A. 高階規格

本課程中使用的8位元7段顯示器控制器是專為RVfpga系統所量身設計的。它包含兩個名為 *Enables\_Reg* 和 *Digits\_Reg* 的暫存器，分別映射到位址 0x80001038 和 0x8000103C（請注意，這兩個位址是為系統控制器保留的位址範圍內的未使用位址，可以在 <https://github.com/chipsalliance/Cores-SweRVolf> 中檢視）。

**任務：**找到暫存器 *Enables\_Reg* 和 *Digits\_Reg* 的宣告以及為其分配值的位置。8位7段顯示器在以下檔案中實作：  
`[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Peripherals/SystemController/swervolf_syscon.v`。

*Enables\_Reg* 是一個8位元暫存器，其中的每一位元用於確定相應位數字為 *ON*（0）還是 *OFF*（1）。*Digits\_Reg* 是一個32位元暫存器，其中每個4位元組代表要在相應位數字上顯示的十六進位值。例如，要在最右邊的兩位數字上顯示 **71**，程式設計師應為暫存器分配以下值：

- *Enables\_Reg* = 0xFC                      （啟用最右邊的兩位數字）
- *Digits\_Reg* = 0x00000071              （值 = 71）

### 4. 基本練習

**練習1.** 編寫一個RISC-V組合語言程式和一個C程式，在7段顯示器最右邊的四位數字上顯示開關值。

**練習2.** 編寫一個RISC-V組合語言程式和一個C程式，在8位7段顯示器上從右到左移動顯示字串「0-1-2-3-4-5-6-7-8」。也就是說，最右邊的一位數字上應先顯示0。之後，0應向左移動，最右邊的一位數字上應顯示1，依此類推。

### 5. 8位7段顯示器控制器：低階實作和模擬

到目前為止，我們僅說明了如何使用8位7段顯示器。在本節中，我們將介紹其低階實作，並在執行簡單組合語言程式碼範例時通過模擬分析RVfpgaSim。最後，我們將提供修改8位7段顯示器控制器的練習。

#### A. 8位7段顯示器控制器的低階實作

與以前的通用I/O（General-Purpose I/O，GPIO）實驗相似，我們將8位7段顯示器控制器的分析分為三個階段：

1. 開發板上SoC和I/O裝置之間的連接（圖4中的左側陰影區域）；
2. 新控制器的整合，該新控制器包含在SoC中的SweRVolfX系統控制器中（圖4中的中間陰影區域）；
3. 新控制器與SweRV EH1核心之間的連接（圖4中的右側陰影區域）。

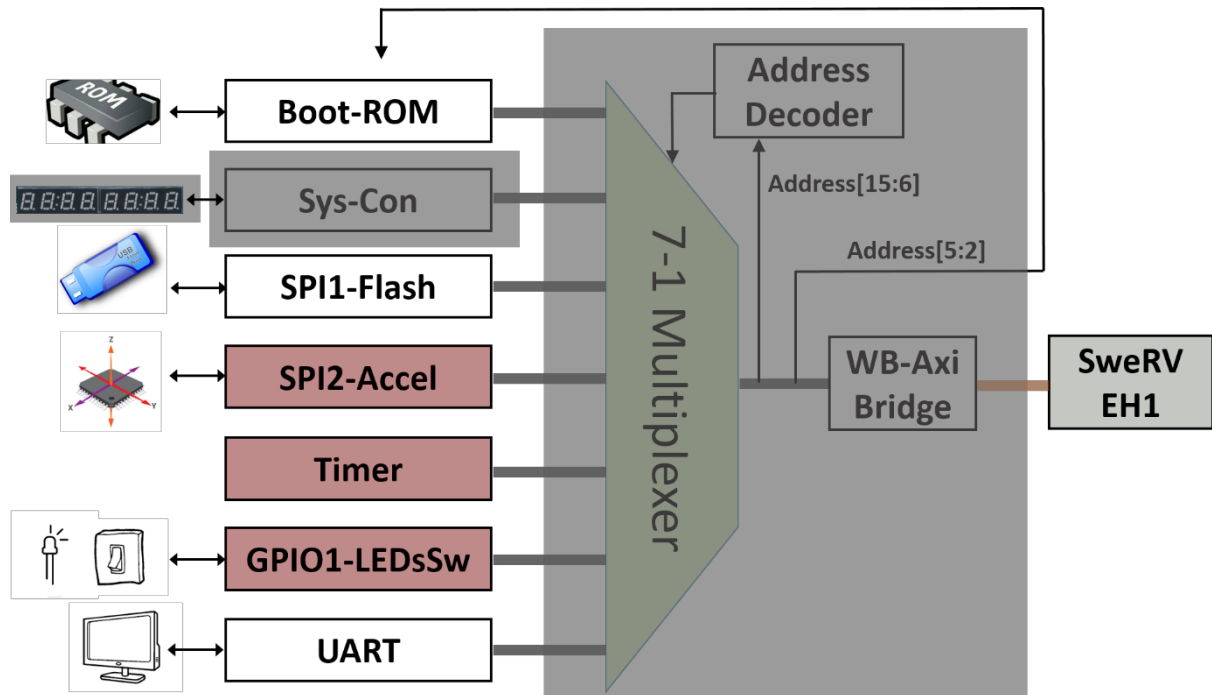


圖4. 8位7段顯示器控制器分析（分為3個階段）

## 1. LED/開關與SoC的連接

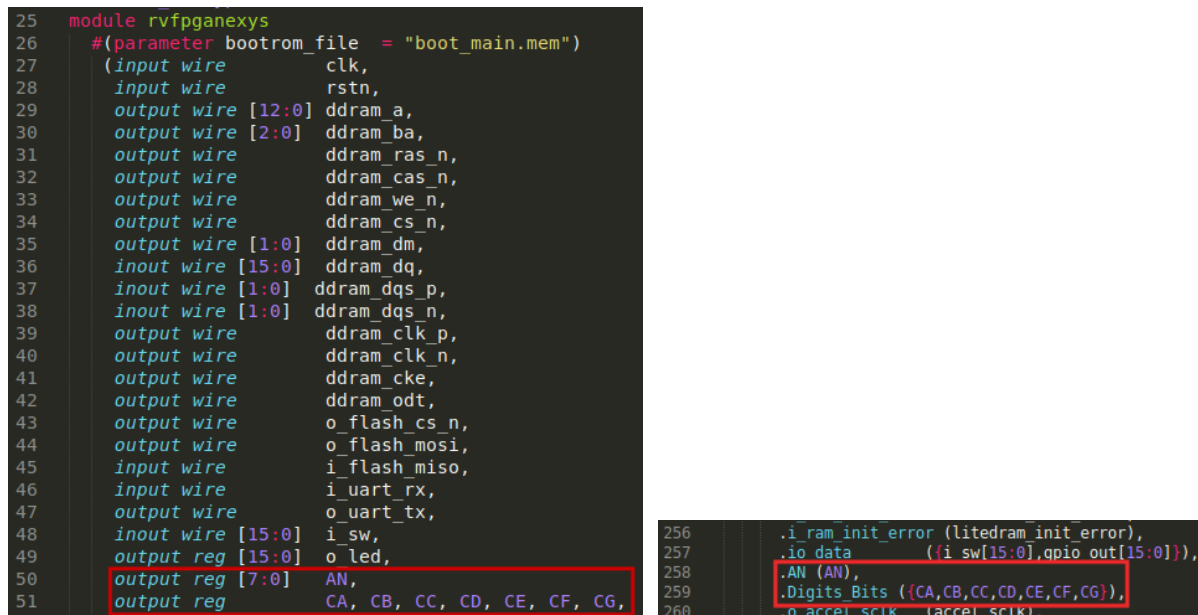
專案的限制檔（`[RVfpgaPath]/RVfpga/src/rvfpganexys.xdc`）定義了輸入/輸出SoC訊號與開發板之間的連接。Nexys A7 FPGA開發板上的每個I/O裝置都連接到特定的FPGA引腳。連接八個陽極的訊號（請參閱圖3）稱為`AN[i]`（`i`的範圍為0-7），連接所有8位數字上相似段的陰極的訊號（請參閱圖3）稱為`CA`、`CB`、`CC`、`CD`、`CE`、`CF`和`CG`。圖5顯示了定義這些連接的限制檔片段。

```
60 ##7 segment display
61 set_property -dict { PACKAGE_PIN T10 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CA }]; #IO_L24N_T3_A00_D16_14 Sch=ca
62 set_property -dict { PACKAGE_PIN R10 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CB }]; #IO_25_14 Sch=cb
63 set_property -dict { PACKAGE_PIN K16 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CC }]; #IO_25_15 Sch=cc
64 set_property -dict { PACKAGE_PIN K13 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CD }]; #IO_L17P_T2_A26_15 Sch=cd
65 set_property -dict { PACKAGE_PIN P15 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CE }]; #IO_L13P_T2_MRCC_14 Sch=ce
66 set_property -dict { PACKAGE_PIN T11 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CF }]; #IO_L19P_T3_A10_D26_14 Sch=cf
67 set_property -dict { PACKAGE_PIN L18 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { CG }]; #IO_L4P_T0_D04_14 Sch=cg
68 #set_property -dict { PACKAGE_PIN H15 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { DP }]; #IO_L19N_T3_A21_VREF_15 Sch=dp
69 set_property -dict { PACKAGE_PIN J17 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[0] }]; #IO_L23P_T3_F0E_B_15 Sch=an[0]
70 set_property -dict { PACKAGE_PIN J18 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[1] }]; #IO_L23N_T3_FWE_B_15 Sch=an[1]
71 set_property -dict { PACKAGE_PIN T9 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[2] }]; #IO_L24P_T3_A01_D17_14 Sch=an[2]
72 set_property -dict { PACKAGE_PIN J14 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[3] }]; #IO_L19P_T3_A22_15 Sch=an[3]
73 set_property -dict { PACKAGE_PIN P14 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[4] }]; #IO_L8N_T1_D12_14 Sch=an[4]
74 set_property -dict { PACKAGE_PIN T14 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[5] }]; #IO_L14P_T2_SRCC_14 Sch=an[5]
75 set_property -dict { PACKAGE_PIN K2 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[6] }]; #IO_L23P_T3_35 Sch=an[6]
76 set_property -dict { PACKAGE_PIN U13 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports { AN[7] }]; #IO_L23N_T3_A02_D18_14 Sch=an[7]
```

圖5. 8位元7段顯示器輸入的連接（檔案`rvfpganexys.xdc`）



在系統頂端模組（模組**rvfpganexys**，在[RVfpgaPath]/RVfpga/src/rvfpganexys.sv檔中實作）的第50-51行中，可以找到8位7段顯示器連接到SoC的AN[i]和CA…CG的輸入訊號（圖6的左側部分）；而在該模組的末尾（圖6的右側部分），可以找到該顯示器與**swervolf\_core**模組的連接（請注意，CA…CG訊號在該模組中重新命名為**Digits\_Bits[6:0]**）。



```

25 module rvfpganexys
26   #(parameter bootrom_file = "boot_main.mem")
27   (input wire      clk,
28    input wire      rstn,
29    output wire [12:0] ddram_a,
30    output wire [2:0] ddram_ba,
31    output wire      ddram_ras_n,
32    output wire      ddram_cas_n,
33    output wire      ddram_we_n,
34    output wire      ddram_cs_n,
35    output wire [1:0] ddram_dm,
36    inout wire [15:0] ddram_dq,
37    inout wire [1:0] ddram_dqs_p,
38    inout wire [1:0] ddram_dqs_n,
39    output wire      ddram_clk_p,
40    output wire      ddram_clk_n,
41    output wire      ddram_cke,
42    output wire      ddram_odt,
43    output wire      o_flash_cs_n,
44    output wire      o_flash_mosi,
45    input wire      i_flash_miso,
46    input wire      i_uart_rx,
47    output wire      o_uart_tx,
48    inout wire [15:0] i_sw,
49    output reg [15:0] o_led,
50    output reg [7:0] AN,
51    output reg      CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG,
52    output reg      DD, DE, DF, DG,
53    output reg      EE, EF, EG,
54    output reg      FF, FG,
55    output reg      GG,
56    output reg      HH,
57    output reg      II,
58    output reg      JJ,
59    output reg      KK,
60    output reg      LL,
61    output reg      MM,
62    output reg      NN,
63    output reg      OO,
64    output reg      PP,
65    output reg      QQ,
66    output reg      RR,
67    output reg      SS,
68    output reg      TT,
69    output reg      UU,
70    output reg      VV,
71    output reg      WW,
72    output reg      XX,
73    output reg      YY,
74    output reg      ZZ,
75    output reg      AA,
76    output reg      BB,
77    output reg      CC,
78    output reg      DD,
79    output reg      EE,
80    output reg      FF,
81    output reg      GG,
82    output reg      HH,
83    output reg      II,
84    output reg      JJ,
85    output reg      KK,
86    output reg      LL,
87    output reg      MM,
88    output reg      NN,
89    output reg      OO,
90    output reg      PP,
91    output reg      QQ,
92    output reg      RR,
93    output reg      SS,
94    output reg      TT,
95    output reg      UU,
96    output reg      VV,
97    output reg      WW,
98    output reg      XX,
99    output reg      YY,
100   output reg      ZZ,
101   output reg      AA,
102   output reg      BB,
103   output reg      CC,
104   output reg      DD,
105   output reg      EE,
106   output reg      FF,
107   output reg      GG,
108   output reg      HH,
109   output reg      II,
110   output reg      JJ,
111   output reg      KK,
112   output reg      LL,
113   output reg      MM,
114   output reg      NN,
115   output reg      OO,
116   output reg      PP,
117   output reg      QQ,
118   output reg      RR,
119   output reg      SS,
120   output reg      TT,
121   output reg      UU,
122   output reg      VV,
123   output reg      WW,
124   output reg      XX,
125   output reg      YY,
126   output reg      ZZ,
127   output reg      AA,
128   output reg      BB,
129   output reg      CC,
130   output reg      DD,
131   output reg      EE,
132   output reg      FF,
133   output reg      GG,
134   output reg      HH,
135   output reg      II,
136   output reg      JJ,
137   output reg      KK,
138   output reg      LL,
139   output reg      MM,
140   output reg      NN,
141   output reg      OO,
142   output reg      PP,
143   output reg      QQ,
144   output reg      RR,
145   output reg      SS,
146   output reg      TT,
147   output reg      UU,
148   output reg      VV,
149   output reg      WW,
150   output reg      XX,
151   output reg      YY,
152   output reg      ZZ,
153   output reg      AA,
154   output reg      BB,
155   output reg      CC,
156   output reg      DD,
157   output reg      EE,
158   output reg      FF,
159   output reg      GG,
160   output reg      HH,
161   output reg      II,
162   output reg      JJ,
163   output reg      KK,
164   output reg      LL,
165   output reg      MM,
166   output reg      NN,
167   output reg      OO,
168   output reg      PP,
169   output reg      QQ,
170   output reg      RR,
171   output reg      SS,
172   output reg      TT,
173   output reg      UU,
174   output reg      VV,
175   output reg      WW,
176   output reg      XX,
177   output reg      YY,
178   output reg      ZZ,
179   output reg      AA,
180   output reg      BB,
181   output reg      CC,
182   output reg      DD,
183   output reg      EE,
184   output reg      FF,
185   output reg      GG,
186   output reg      HH,
187   output reg      II,
188   output reg      JJ,
189   output reg      KK,
190   output reg      LL,
191   output reg      MM,
192   output reg      NN,
193   output reg      OO,
194   output reg      PP,
195   output reg      QQ,
196   output reg      RR,
197   output reg      SS,
198   output reg      TT,
199   output reg      UU,
200   output reg      VV,
201   output reg      WW,
202   output reg      XX,
203   output reg      YY,
204   output reg      ZZ,
205   output reg      AA,
206   output reg      BB,
207   output reg      CC,
208   output reg      DD,
209   output reg      EE,
210   output reg      FF,
211   output reg      GG,
212   output reg      HH,
213   output reg      II,
214   output reg      JJ,
215   output reg      KK,
216   output reg      LL,
217   output reg      MM,
218   output reg      NN,
219   output reg      OO,
220   output reg      PP,
221   output reg      QQ,
222   output reg      RR,
223   output reg      SS,
224   output reg      TT,
225   output reg      UU,
226   output reg      VV,
227   output reg      WW,
228   output reg      XX,
229   output reg      YY,
230   output reg      ZZ,
231   output reg      AA,
232   output reg      BB,
233   output reg      CC,
234   output reg      DD,
235   output reg      EE,
236   output reg      FF,
237   output reg      GG,
238   output reg      HH,
239   output reg      II,
240   output reg      JJ,
241   output reg      KK,
242   output reg      LL,
243   output reg      MM,
244   output reg      NN,
245   output reg      OO,
246   output reg      PP,
247   output reg      QQ,
248   output reg      RR,
249   output reg      SS,
250   output reg      TT,
251   output reg      UU,
252   output reg      VV,
253   output reg      WW,
254   output reg      XX,
255   output reg      YY,
256   output reg      ZZ,
257   output reg      AA,
258   output reg      BB,
259   output reg      CC,
260   output reg      DD,
261   output reg      EE,
262   output reg      FF,
263   output reg      GG,
264   output reg      HH,
265   output reg      II,
266   output reg      JJ,
267   output reg      KK,
268   output reg      LL,
269   output reg      MM,
270   output reg      NN,
271   output reg      OO,
272   output reg      PP,
273   output reg      QQ,
274   output reg      RR,
275   output reg      SS,
276   output reg      TT,
277   output reg      UU,
278   output reg      VV,
279   output reg      WW,
280   output reg      XX,
281   output reg      YY,
282   output reg      ZZ,
283   output reg      AA,
284   output reg      BB,
285   output reg      CC,
286   output reg      DD,
287   output reg      EE,
288   output reg      FF,
289   output reg      GG,
290   output reg      HH,
291   output reg      II,
292   output reg      JJ,
293   output reg      KK,
294   output reg      LL,
295   output reg      MM,
296   output reg      NN,
297   output reg      OO,
298   output reg      PP,
299   output reg      QQ,
300   output reg      RR,
301   output reg      SS,
302   output reg      TT,
303   output reg      UU,
304   output reg      VV,
305   output reg      WW,
306   output reg      XX,
307   output reg      YY,
308   output reg      ZZ,
309   output reg      AA,
310   output reg      BB,
311   output reg      CC,
312   output reg      DD,
313   output reg      EE,
314   output reg      FF,
315   output reg      GG,
316   output reg      HH,
317   output reg      II,
318   output reg      JJ,
319   output reg      KK,
320   output reg      LL,
321   output reg      MM,
322   output reg      NN,
323   output reg      OO,
324   output reg      PP,
325   output reg      QQ,
326   output reg      RR,
327   output reg      SS,
328   output reg      TT,
329   output reg      UU,
330   output reg      VV,
331   output reg      WW,
332   output reg      XX,
333   output reg      YY,
334   output reg      ZZ,
335   output reg      AA,
336   output reg      BB,
337   output reg      CC,
338   output reg      DD,
339   output reg      EE,
340   output reg      FF,
341   output reg      GG,
342   output reg      HH,
343   output reg      II,
344   output reg      JJ,
345   output reg      KK,
346   output reg      LL,
347   output reg      MM,
348   output reg      NN,
349   output reg      OO,
350   output reg      PP,
351   output reg      QQ,
352   output reg      RR,
353   output reg      SS,
354   output reg      TT,
355   output reg      UU,
356   output reg      VV,
357   output reg      WW,
358   output reg      XX,
359   output reg      YY,
360   output reg      ZZ,
361   output reg      AA,
362   output reg      BB,
363   output reg      CC,
364   output reg      DD,
365   output reg      EE,
366   output reg      FF,
367   output reg      GG,
368   output reg      HH,
369   output reg      II,
370   output reg      JJ,
371   output reg      KK,
372   output reg      LL,
373   output reg      MM,
374   output reg      NN,
375   output reg      OO,
376   output reg      PP,
377   output reg      QQ,
378   output reg      RR,
379   output reg      SS,
380   output reg      TT,
381   output reg      UU,
382   output reg      VV,
383   output reg      WW,
384   output reg      XX,
385   output reg      YY,
386   output reg      ZZ,
387   output reg      AA,
388   output reg      BB,
389   output reg      CC,
390   output reg      DD,
391   output reg      EE,
392   output reg      FF,
393   output reg      GG,
394   output reg      HH,
395   output reg      II,
396   output reg      JJ,
397   output reg      KK,
398   output reg      LL,
399   output reg      MM,
400   output reg      NN,
401   output reg      OO,
402   output reg      PP,
403   output reg      QQ,
404   output reg      RR,
405   output reg      SS,
406   output reg      TT,
407   output reg      UU,
408   output reg      VV,
409   output reg      WW,
410   output reg      XX,
411   output reg      YY,
412   output reg      ZZ,
413   output reg      AA,
414   output reg      BB,
415   output reg      CC,
416   output reg      DD,
417   output reg      EE,
418   output reg      FF,
419   output reg      GG,
420   output reg      HH,
421   output reg      II,
422   output reg      JJ,
423   output reg      KK,
424   output reg      LL,
425   output reg      MM,
426   output reg      NN,
427   output reg      OO,
428   output reg      PP,
429   output reg      QQ,
430   output reg      RR,
431   output reg      SS,
432   output reg      TT,
433   output reg      UU,
434   output reg      VV,
435   output reg      WW,
436   output reg      XX,
437   output reg      YY,
438   output reg      ZZ,
439   output reg      AA,
440   output reg      BB,
441   output reg      CC,
442   output reg      DD,
443   output reg      EE,
444   output reg      FF,
445   output reg      GG,
446   output reg      HH,
447   output reg      II,
448   output reg      JJ,
449   output reg      KK,
450   output reg      LL,
451   output reg      MM,
452   output reg      NN,
453   output reg      OO,
454   output reg      PP,
455   output reg      QQ,
456   output reg      RR,
457   output reg      SS,
458   output reg      TT,
459   output reg      UU,
460   output reg      VV,
461   output reg      WW,
462   output reg      XX,
463   output reg      YY,
464   output reg      ZZ,
465   output reg      AA,
466   output reg      BB,
467   output reg      CC,
468   output reg      DD,
469   output reg      EE,
470   output reg      FF,
471   output reg      GG,
472   output reg      HH,
473   output reg      II,
474   output reg      JJ,
475   output reg      KK,
476   output reg      LL,
477   output reg      MM,
478   output reg      NN,
479   output reg      OO,
480   output reg      PP,
481   output reg      QQ,
482   output reg      RR,
483   output reg      SS,
484   output reg      TT,
485   output reg      UU,
486   output reg      VV,
487   output reg      WW,
488   output reg      XX,
489   output reg      YY,
490   output reg      ZZ,
491   output reg      AA,
492   output reg      BB,
493   output reg      CC,
494   output reg      DD,
495   output reg      EE,
496   output reg      FF,
497   output reg      GG,
498   output reg      HH,
499   output reg      II,
500   output reg      JJ,
501   output reg      KK,
502   output reg      LL,
503   output reg      MM,
504   output reg      NN,
505   output reg      OO,
506   output reg      PP,
507   output reg      QQ,
508   output reg      RR,
509   output reg      SS,
510   output reg      TT,
511   output reg      UU,
512   output reg      VV,
513   output reg      WW,
514   output reg      XX,
515   output reg      YY,
516   output reg      ZZ,
517   output reg      AA,
518   output reg      BB,
519   output reg      CC,
520   output reg      DD,
521   output reg      EE,
522   output reg      FF,
523   output reg      GG,
524   output reg      HH,
525   output reg      II,
526   output reg      JJ,
527   output reg      KK,
528   output reg      LL,
529   output reg      MM,
530   output reg      NN,
531   output reg      OO,
532   output reg      PP,
533   output reg      QQ,
534   output reg      RR,
535   output reg      SS,
536   output reg      TT,
537   output reg      UU,
538   output reg      VV,
539   output reg      WW,
540   output reg      XX,
541   output reg      YY,
542   output reg      ZZ,
543   output reg      AA,
544   output reg      BB,
545   output reg      CC,
546   output reg      DD,
547   output reg      EE,
548   output reg      FF,
549   output reg      GG,
550   output reg      HH,
551   output reg      II,
552   output reg      JJ,
553   output reg      KK,
554   output reg      LL,
555   output reg      MM,
556   output reg      NN,
557   output reg      OO,
558   output reg      PP,
559   output reg      QQ,
560   output reg      RR,
561   output reg      SS,
562   output reg      TT,
563   output reg      UU,
564   output reg      VV,
565   output reg      WW,
566   output reg      XX,
567   output reg      YY,
568   output reg      ZZ,
569   output reg      AA,
570   output reg      BB,
571   output reg      CC,
572   output reg      DD,
573   output reg      EE,
574   output reg      FF,
575   output reg      GG,
576   output reg      HH,
577   output reg      II,
578   output reg      JJ,
579   output reg      KK,
580   output reg      LL,
581   output reg      MM,
582   output reg      NN,
583   output reg      OO,
584   output reg      PP,
585   output reg      QQ,
586   output reg      RR,
587   output reg      SS,
588   output reg      TT,
589   output reg      UU,
590   output reg      VV,
591   output reg      WW,
592   output reg      XX,
593   output reg      YY,
594   output reg      ZZ,
595   output reg      AA,
596   output reg      BB,
597   output reg      CC,
598   output reg      DD,
599   output reg      EE,
600   output reg      FF,
601   output reg      GG,
602   output reg      HH,
603   output reg      II,
604   output reg      JJ,
605   output reg      KK,
606   output reg      LL,
607   output reg      MM,
608   output reg      NN,
609   output reg      OO,
610   output reg      PP,
611   output reg      QQ,
612   output reg      RR,
613   output reg      SS,
614   output reg      TT,
615   output reg      UU,
616   output reg      VV,
617   output reg      WW,
618   output reg      XX,
619   output reg      YY,
620   output reg      ZZ,
621   output reg      AA,
622   output reg      BB,
623   output reg      CC,
624   output reg      DD,
625   output reg      EE,
626   output reg      FF,
627   output reg      GG,
628   output reg      HH,
629   output reg      II,
630   output reg      JJ,
631   output reg      KK,
632   output reg      LL,
633   output reg      MM,
634   output reg      NN,
635   output reg      OO,
636   output reg      PP,
637   output reg      QQ,
638   output reg      RR,
639   output reg      SS,
640   output reg      TT,
641   output reg      UU,
642   output reg      VV,
643   output reg      WW,
644   output reg      XX,
645   output reg      YY,
646   output reg      ZZ,
647   output reg      AA,
648   output reg      BB,
649   output reg      CC,
650   output reg      DD,
651   output reg      EE,
652   output reg      FF,
653   output reg      GG,
654   output reg      HH,
655   output reg      II,
656   output reg      JJ,
657   output reg      KK,
658   output reg      LL,
659   output reg      MM,
660   output reg      NN,
661   output reg      OO,
662   output reg      PP,
663   output reg      QQ,
664   output reg      RR,
665   output reg      SS,
666   output reg      TT,
667   output reg      UU,
668   output reg      VV,
669   output reg      WW,
670   output reg      XX,
671   output reg      YY,
672   output reg      ZZ,
673   output reg      AA,
674   output reg      BB,
675   output reg      CC,
676   output reg      DD,
677   output reg      EE,
678   output reg      FF,
679   output reg      GG,
680   output reg      HH,
681   output reg      II,
682   output reg      JJ,
683   output reg      KK,
684   output reg      LL,
685   output reg      MM,
686   output reg      NN,
687   output reg      OO,
688   output reg      PP,
689   output reg      QQ,
690   output reg      RR,
691   output reg      SS,
692   output reg      TT,
693   output reg      UU,
694   output reg      VV,
695   output reg      WW,
696   output reg      XX,
697   output reg      YY,
698   output reg      ZZ,
699   output reg      AA,
700   output reg      BB,
701   output reg      CC,
702   output reg      DD,
703   output reg      EE,
704   output reg      FF,
705   output reg      GG,
706   output reg      HH,
707   output reg      II,
708   output reg      JJ,
709   output reg      KK,
710   output reg      LL,
711   output reg      MM,
712   output reg      NN,
713   output reg      OO,
714   output reg      PP,
715   output reg      QQ,
716   output reg      RR,
717   output reg      SS,
718   output reg      TT,
719   output reg      UU,
720   output reg      VV,
721   output reg      WW,
722   output reg      XX,
723   output reg      YY,
724   output reg      ZZ,
725   output reg      AA,
726   output reg      BB,
727   output reg      CC,
728   output reg      DD,
729   output reg      EE,
730   output reg      FF,
731   output reg      GG,
732   output reg      HH,
733   output reg      II,
734   output reg      JJ,
735   output reg      KK,
736   output reg      LL,
737   output reg      MM,
738   output reg      NN,
739   output reg      OO,
740   output reg      PP,
741   output reg      QQ,
742   output reg      RR,
743   output reg      SS,
744   output reg      TT,
745   output reg      UU,
746   output reg      VV,
747   output reg      WW,
748   output reg      XX,
749   output reg      YY,
750   output reg      ZZ,
751   output reg      AA,
752   output reg      BB,
753   output reg      CC,
754   output reg      DD,
755   output reg      EE,
756   output reg      FF,
757   output reg      GG,
758   output reg      HH,
759   output reg      II,
760   output reg      JJ,
761   output reg      KK,
762   output reg      LL,
763   output reg      MM,
764   output reg      NN,
765   output reg      OO,
766   output reg      PP,
767   output reg      QQ,
768   output reg      RR,
769   output reg      SS,
770   output reg      TT,
771   output reg      UU,
772   output reg      VV,
773   output reg      WW,
774   output reg      XX,
775   output reg      YY,
776   output reg      ZZ,
777   output reg      AA,
778   output reg      BB,
779   output reg      CC,
780   output reg      DD,
781   output reg      EE,
782   output reg      FF,
783   output reg      GG,
784   output reg      HH,
785   output reg      II,
786   output reg      JJ,
787   output reg      KK,
788   output reg      LL,
789   output reg      MM,
790   output reg      NN,
791   output reg      OO,
792   output reg      PP,
793   output reg      QQ,
794   output reg      RR,
795   output reg      SS,
796   output reg      TT,
797   output reg      UU,
798   output reg      VV,
799   output reg      WW,
800   output reg      XX,
801   output reg      YY,
802   output reg      ZZ,
803   output reg      AA,
804   output reg      BB,
805   output reg      CC,
806   output reg      DD,
807   output reg      EE,
808   output reg      FF,
809   output reg      GG,
810   output reg      HH,
811   output reg      II,
812   output reg      JJ,
813   output reg      KK,
814   output reg      LL,
815   output reg      MM,
816   output reg      NN,
817   output reg      OO,
818   output reg      PP,
819   output reg      QQ,
820   output reg      RR,
821   output reg      SS,
822   output reg      TT,
823   output reg      UU,
824   output reg      VV,
825   output reg      WW,
826   output reg      XX,
827   output reg      YY,
828   output reg      ZZ,
829   output reg      AA,
830   output reg      BB,
831   output reg      CC,
832   output reg      DD,
833   output reg      EE,
834   output reg      FF,
835   output reg      GG,
836   output reg      HH,
837   output reg      II,
838   output reg      JJ,
839   output reg      KK,
840   output reg      LL,
841   output reg      MM,
842   output reg      NN,
843   output reg      OO,
844   output reg      PP,
845   output reg      QQ,
846   output reg      RR,
847   output reg      SS,
848   output reg      TT,
849   output reg      UU,
850   output reg      VV,
851   output reg      WW,
852   output reg      XX,
853   output reg      YY,
854   output reg      ZZ,
855   output reg      AA,
856   output reg      BB,
857   output reg      CC,
858   output reg      DD,
859   output reg      EE,
860   output reg      FF,
861   output reg      GG,
862   output reg      HH,
863   output reg      II,
864   output reg      JJ,
865   output reg      KK,
866   output reg      LL,
867   output reg      MM,
868   output reg      NN,
869   output reg      OO,
870   output reg      PP,
871   output reg      QQ,
872   output reg      RR,
873   output reg      SS,
874   output reg      TT,
875   output reg      UU,
876   output reg      VV,
877   output reg      WW,
878   output reg      XX,
879   output reg      YY,
880   output reg      ZZ,
881   output reg      AA,
882   output reg      BB,
883   output reg      CC,
884   output reg      DD,
885   output reg      EE,
886   output reg      FF,
887   output reg      GG,
888   output reg      HH,
889   output reg      II,
890   output reg      JJ,
891   output reg      KK,
892   output reg      LL,
893   output reg      MM,
894   output reg      NN,
895   output reg      OO,
896   output reg      PP,
897   output reg      QQ,
898   output reg      RR,
899   output reg      SS,
900   output reg      TT,
901   output reg      UU,
902   output reg      VV,
903   output reg      WW,
904   output reg      XX,
905   output reg      YY,
906   output reg      ZZ,
907   output reg      AA,
908   output reg      BB,
909   output reg      CC,
910   output reg      DD,
911   output reg      EE,
912   output reg      FF,
913   output reg      GG,
914   output reg      HH,
915   output reg      II,
916   output reg      JJ,
917   output reg      KK,
918   output reg      LL,
919   output reg      MM,
920   output reg      NN,
921   output reg      OO,
922   output reg      PP,
923   output reg      QQ,
924   output reg      RR,
925   output reg      SS,
926   output reg      TT,
927   output reg      UU,
928   output reg      VV,
929   output reg      WW,
930   output reg      XX,
931   output reg      YY,
932   output reg      ZZ,
933   output reg      AA,
934   output reg      BB,
935   output reg      CC,
936   output reg      DD,
937   output reg      EE,
938   output reg      FF,
939   output reg      GG,
940   output reg      HH,
941   output reg      II,
942   output reg      JJ,
943   output reg      KK,
944   output reg      LL,
945   output reg      MM,
946   output reg      NN,
947   output reg      OO,
948   output reg      PP,
949   output reg      QQ,
950   output reg      RR,
951   output reg      SS,
952   output reg      TT,
953   output reg      UU,
954   output reg      VV,
955   output reg      WW,
956   output reg      XX,
957   output reg      YY,
958   output reg      ZZ,
959   output reg      AA,
960   output reg      BB,
961   output reg      CC,
962   output reg      DD,
963   output reg      EE,
964   output reg      FF,
965   output reg      GG,
966   output reg      HH,
967   output reg      II,
968   output reg      JJ,
969   output reg      KK,
970   output reg      LL,
971   output reg      MM,
972   output reg      NN,
973   output reg      OO,
974   output reg      PP,
975   output reg      QQ,
976   output reg      RR,
977   output reg      SS,
978   output reg      TT,
979   output reg      UU,
980   output reg      VV,
981   output reg      WW,
982   output reg      XX,
983   output reg      YY,
984   output reg      ZZ,
985   output reg      AA,
986   output reg      BB,
987   output reg      CC,
988   output reg      DD,
989   output reg      EE,
990   output reg      FF,
991   output reg      GG,
992   output reg      HH,
993   output reg      II,
994   output reg      JJ,
995   output reg      KK,
996   output reg      LL,
997   output reg      MM,
998   output reg      NN,
999   output reg      OO,
1000  output reg      PP,
1001  output reg      QQ,
1002  output reg      RR,
1003  output reg      SS,
1004  output reg      TT,
1005  output reg      UU,
1006  output reg      VV,
1007  output reg      WW,
1008  output reg      XX,
1009  output reg      YY,
1010  output reg      ZZ,
1011  output reg      AA,
1012  output reg      BB,
1013  output reg      CC,
1014  output reg      DD,
1015  output reg      EE,
1016  output reg      FF,
1017  output reg      GG,
1018  output reg      HH,
1019  output reg      II,
1020  output reg      JJ,
1021  output reg      KK,
1022  output reg      LL,
1023  output reg      MM,
1024  output reg      NN,
1025  output reg      OO,
1026  output reg      PP,
1027  output reg      QQ,
1028  output reg      RR,
1029  output reg      SS,
1030  output reg      TT,
1031  output reg      UU,
1032  output reg      VV,
1033  output reg      WW,
1034  output reg      XX,
1035  output reg      YY,
1036  output reg      ZZ,
1037  output reg      AA,
1038  output reg      BB,
1039  output reg      CC,
1040  output reg      DD,
1041  output reg      EE,
1042  output reg      FF,
1043  output reg      GG,
1044  output reg      HH,
1045  output reg      II,
1046  output reg      JJ,
1047  output reg      KK,
1048  output reg      LL,
1049  output reg      MM,
1050  output reg      NN,
1051  output reg      OO,
1052  output reg      PP,
1053  output reg      QQ,
1054  output reg      RR,
1055  output reg      SS,
1056  output reg      TT,
1057  output reg      UU,
1058  output reg      VV,
1059  output reg      WW,
1060  output reg      XX,
1061  output reg      YY,
1062  output reg      ZZ,
1063  output reg      AA,
1064  output reg      BB,
1065  output reg      CC,
1066  output reg      DD,
1067  output reg      EE,
1068  output reg      FF,
1069  output reg      GG,
1070  output reg      HH,
1071  output reg      II,
1072  output reg      JJ,
1073  output reg      KK,
1074  output reg      LL,
1075  output reg      MM,
1076  output reg      NN,
1077  output reg      OO,
1078  output reg      PP,
1079  output reg      QQ,
1080  output reg      RR,
1081  output reg      SS,
1082  output reg      TT,
1083  output reg      UU,
1084  output reg      VV,
1085  output reg      WW,
1086  output reg      XX,
1087  output reg      YY,
1088  output reg      ZZ,
1089  output reg      AA,
1090  output reg      BB,
1091  output reg      CC,
1092  output reg      DD,
1093  output reg      EE,
1094  output reg      FF,
1095  output reg      GG,
1096  output reg      HH,
1097  output reg      II,
1098  output reg      JJ,
1099  output reg      KK,
1100  output reg      LL,
1101  output reg      MM,
1102  output reg      NN,
1103  output reg      OO,
1104  output reg      PP,
1105  output reg      QQ,
1106  output reg      RR,
1107  output reg      SS,
1108  output reg      TT,
1109  output reg      UU,
1110  output reg      VV,
1111  output reg      WW,
1112  output reg      XX,
1113  output reg      YY,
1114  output reg      ZZ,
1115  output reg      AA,
1116  output reg      BB,
1117  output reg      CC,
1118  output reg      DD,
1119  output reg      EE,
1120  output reg      FF,
1121  output reg      GG,
1122  output reg      HH,
1123  output reg      II,
1124  output reg      JJ,
1125  output reg      KK,
1126  output reg      LL,
1127  output reg      MM,
1128  output reg      NN,
1129  output reg      OO,
1130  output reg      PP,
1131  output reg      QQ,
1132  output reg      RR,
1133  output reg      SS,
1134  output reg      TT,
1135  output reg      UU,
1136  output reg      VV,
1137  output reg      WW,
1138  output reg      XX,
1139  output reg      YY,
1140  output reg      ZZ,
1141  output reg      AA,
1142  output reg      BB,
1143  output reg      CC,
1144  output reg      DD,
1145  output reg      EE,
1146  output reg      FF,
1147  output reg      GG,
1148  output reg      HH,
1149  output reg      II,
1150  output reg      JJ,
1151  output reg      KK,
1152  output reg      LL,
1153  output reg      MM,
1154  output reg      NN,
1155  output reg      OO,
1156  output reg      PP,
1157  output reg      QQ,
1158  output reg      RR,
1159  output reg      SS,
1160  output reg      TT,
1161  output reg      UU,
1162  output reg      VV,
1163  output reg      WW,
1164  output reg      XX,
1165  output reg      YY,
1166  output reg      ZZ,
1167  output reg      AA,
1168  output reg      BB,
1169  output reg      CC,
1170  output reg      DD,
1171  output reg      EE,
1172  output reg      FF,
1173  output reg      GG,
1174  output reg      HH,
1175  output reg      II,
1176  output reg      JJ,
1177  output reg      KK,
1178  output reg      LL,
1179  output reg      MM,
1180  output reg      NN,
1181  output reg      OO,
1182  output reg      PP,
1183  output reg      QQ,
1184  output reg      RR,
1185  output reg      SS,
1186  output reg      TT,
1187  output reg      UU,
1188  output reg      VV,
1189  output reg      WW,
1190  output reg      XX,
1191  output reg      YY,
1192  output reg      ZZ,
1193  output reg      AA,
1
```

**任務：**追蹤從限制檔到系統控制器模組的這些訊號（CA-CG和AN），CA-CG在系統控制器模組中合併為陣列*Digits\_Bits*。您將需要檢查以下檔案：

```
[RVfpgaPath]/RVfpga/src/rvfpganexys.xdc
[RVfpgaPath]/RVfpga/src/rvfpganexys.sv
[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/swervolf_core.v
[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Peripherals/SystemController/swervolf_syscon.v
```

## 2. 將8位7段顯示器控制器整合到SoC中

在模組*swervolf\_syscon*

（[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Peripherals/SystemController/swervolf\_syscon.v）的第276-288行，8位7段顯示器控制器經過實例化並整合到SoC中（請參閱圖8）。

```
276 // Eight-Digit 7 Segment Displays
277
278 reg [ 7:0] Enables_Reg;
279 reg [31:0] Digits_Reg;
280
281 SevSegDisplays_Controller SegDispl_Ctr(
282     .clk           (i_clk),
283     .rst_n         (i_rst),
284     .Enables_Reg   (Enables_Reg),
285     .Digits_Reg    (Digits_Reg),
286     .AN            (AN),
287     .Digits_Bits   (Digits_Bits)
288 );
289
290 endmodule
```

圖8. 8位7段顯示器控制器實例化（檔案：*swervolf\_syscon.v*）

除了時鐘訊號（*i\_clk*，重新命名為*clk*）和重設訊號（*i\_rst*，重新命名為*rst\_n*）外，**SevSegdisplays\_Controller**模組還接收兩個輸入訊號（*Enables\_Reg*和*Digits\_Reg*），即前文所述的兩個記憶體映射控制暫存器。該模組輸出兩個訊號（*AN*和*Digits\_Bits*），這兩個訊號連接到開發板上7段顯示器。對於在最右邊的兩位數字上顯示71的範例，

**SevSegdisplays\_Controller**會將以下值分配給訊號*AN*和*Digits\_Bits*：

- 從0 ms到2 ms：訊號*AN[0]*為低電平以顯示第0位數字（最右邊的一位數字）。訊號*Digits\_Bits[5]*和*Digits\_Bits[4]*（對應於CB和CC）也為低電平以在第0位數字（最右邊的一位數字）上顯示「1」。所有其他訊號均為高電平。
- 從2 ms到4 ms：訊號*AN[1]*為低電平以顯示第1位數字。*Digits\_Bits[6]*、*Digits\_Bits[5]*和*Digits\_Bits[4]*（對應於CA、CB和CC）為高電平以在第1位數字上顯示「7」。所有其他訊號均為高電平。
- 從4 ms到16 ms：*AN[2]...AN[7]*在2 ms間隔內為高電平，因此它們不顯示值。其餘數字（第2-7位數字）的段也為高電平。

**SevSegdisplays\_Controller**模組在檔案

[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Peripherals/SystemController/swervolf\_syscon.v的第295-366行實作。其中包含以下子單元：

- 兩個多工器用於選擇每2 ms傳送到*AN*和*Digits\_Bits*訊號的值。多工器在模組**SevSegMux**內部實作。

- 為了產生2 ms週期，我們使用檔案*counter.sv*和*delta\_counter.sv*中提供的**counter**模組，這兩個檔案均包含在資料夾*[RVfpgaPath]/RVfpga/src/OtherSources/pulp-platform.org\_\_common\_cells\_1.20.0/src*中。計數器配置為從0計數到 $2^{19}$ ，將大約每2 ms改變一次的3個最高有效位元，用作上述兩個多工器的選擇訊號。
- 譯碼器在模組**SevenSegDecoder**中實作，用於輸出給定4位元十六進位值的段值。

**任務：**詳細分析**SevSegdisplays\_Controller**模組。下一節執行的模擬可以幫助您完成這項任務。如有需要，您還可以使用新訊號擴展模擬。

### 3. 8位7段顯示器控制器與SweRV EH1核心之間的連接

如實驗6中所述，裝置控制器通過多工器與SweRV EH1核心連接（請參閱圖4）。請記住，7:1多工器（圖9）在

*[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Interconnect/WishboneInterconnect/wb\_intercon.v* 檔中實作，該檔案在

*[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Interconnect/WishboneInterconnect/wb\_intercon.vh* 檔的第104-205行實例化。後一個檔案包含在**swervolf\_core**模組的第168行，該模組位於：

*[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/swervolf\_core.v*。

多工器選擇要讀取或寫入哪個週邊設備，根據位址（第110-111行）將CPU（*wb\_io\_\**訊號 – 圖9的第115-126行）與一個週邊設備的Wishbone匯流排（圖9的第127-138行）連接。例如，如果CPU產生的位址在0x80001000-0x8000103F範圍內，則選擇系統控制器，從而將訊號 *wb\_io\_\**與訊號*wb\_sys\_\**連接。

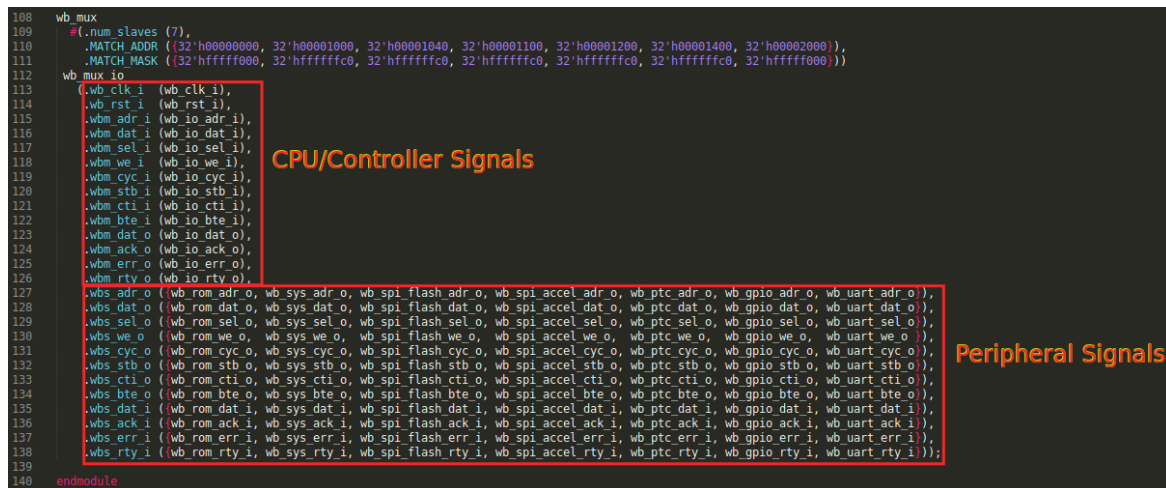


圖9. 選擇與CPU連接的週邊設備的7-1多工器（檔案：*wb\_intercon.v*）

系統控制器中包含的暫存器是從CPU寫入，具體方法是基於CPU產生的位址（*i\_wb\_adr*），將這些暫存器與Wishbone匯流排的資料訊號（*i\_wb\_dat*）直接連接（模組**swervolf\_syscon**的第162-228行）。



**任務：**檢查模組**swervolf\_syscon**的第162-228行，瞭解如何在系統控制器中映射位址。重點關注第219-227行（圖10），即暫存器**Enables\_Reg**和**Digits\_Reg**（如前文所述，分配給這兩個暫存器的位址分別為0x80001038和0x8000103C）。

```

219      14 : begin
220          if (i_wb_sel[0]) Enables_Reg[7:0] <= i_wb_dat[7:0];
221      end
222      15 : begin
223          if (i_wb_sel[0]) Digits_Reg[7:0] <= i_wb_dat[7:0];
224          if (i_wb_sel[1]) Digits_Reg[15:8] <= i_wb_dat[15:8];
225          if (i_wb_sel[2]) Digits_Reg[23:16] <= i_wb_dat[23:16];
226          if (i_wb_sel[3]) Digits_Reg[31:24] <= i_wb_dat[31:24];
227      end

```

圖10. 8位7段顯示器與核心的連接（**swervolf\_syscon.v**檔）

## B. Verilator模擬

在節中，我們使用**RVfpgaSim**在處理器執行驅動該週邊設備的簡單範例時，檢查8位7段顯示器控制器的主要訊號。在模擬程序中，我們會在執行圖11所示的範例（向最右邊的兩位數字寫入71）時分析訊號**AN**和**Digits\_Bits**。該程式位於以下位置：

[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71\_7SegDispl（也提供了C版本，位置如下：  
[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71\_7SegDispl\_C-Lang）。

```

#define SegEn_ADDR    0x80001038
#define SegDig_ADDR   0x8000103C

.globl main
main:

    li t1, SegEn_ADDR
    li t6, 0xFC
    sb t6, 0(t1)                # Enable the 7SegDisplays

    li t1, SegDig_ADDR
    li t6, 0x71
    sw t6, 0(t1)                # Write the 7SegDisplays

next: beq zero, zero, next

.end

```

圖11. 71\_7SegDispl.S範例

圖12顯示了71\_7SegDispl.elf程式的反組合語言程式碼版本，在PlatformIO中編譯後的位置如下：

[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71\_7SegDispl/.pio/build/swervolf\_nexys/firmware.dis

```

00000090 <main>:
90: 80001337      lui     t1,0x80001
94: 03830313      addi    t1,t1,56 # 80001038
98: 0fc00f93      li      t6,252
9c: 01f30023      sb      t6,0(t1)

```

```

a0: 80001337      lui    t1,0x80001
a4: 03c30313      addi   t1,t1,60 # 8000103c
a8: 07100f93      li     t6,113
ac: 01f32023      sw     t6,0(t1)

000000b0 <next>:
b0: 00000063      beqz   zero,b0 <next>

```

**圖12. 71\_7SegDispl.S範例的反組合語言程式碼版本**

請按照以下步驟執行模擬。（如果您不想執行模擬，則可以直接移至步驟7。）

1. 在這種情況下，出於僅模擬的目的，您必須透過將COUNT\_MAX（參見檔案 `[RVfpgaPath]/RVfpga/src/SweRVolfSoC/Peripherals/SystemController/swervolf_syscon.v` 的第295行）從20變更為5來縮短時鐘週期。否則，檢視結果花費的時間將過長。修改COUNT\_MAX的值，然後通過執行以下命令重新編譯RVfpgaSim（GSG中對此進行了說明）：

```

cd [RVfpgaPath]/RVfpga/verilatorSIM
make clean
make

```

新檔案 `Vrvfpgasim`（RVfpgaSim模擬二進位檔）應在目錄 `[RVfpgaPath]/RVfpga/verilatorSIM` 內產生。

**WINDOWS：**如果您使用的是Windows，則必須在Cygwin終端機內執行這些命令（有關詳細說明，請參閱《入門指南》中的第6節和附錄C）。請注意，C: Windows資料夾位於Cygwin中的以下位置：`/cygdrive/c`。

**MacOS：**有關詳細說明，請參閱《入門指南》的附錄D。

2. 在電腦上開啟VSCode/PlatformIO。
3. 在頂端列上，按一下「File」（檔案）→「Open Folder...」（開啟資料夾...），然後導覽至目錄 `[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7`
4. 選擇目錄 `71_7SegDispl`（不要開啟，只需選擇它），然後按一下「OK」（確定）。該範例將在PlatformIO中開啟。
5. 開啟檔案 `platformio.ini`，檢查RVfpgaSim模擬二進位檔案的路徑是否正確。根據入門指南，其形式應如下所示：

```

board_debug.verilator.binary =
[RVfpgaPath]/RVfpga/verilatorSIM/Vrvfpgasim

```
6. 按一下左側功能表功能區中的PlatformIO圖示  執行模擬，然後展開「Project Tasks」（專案任務）→ `env:swervolf_nexys` →「Platform」（平台），並按一下「Generate Trace」（產生軌跡）。

`trace.vcd`檔應已在 `[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71_7SegDispl.pio/build/swervolf_nexys` 內部產生，可以使用GTKWave執行以下命令將其開啟：

```
gtkwave [RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71_7SegDispl/.pio/build/swervolf_nexys/trace.vcd
```

**WINDOWS：**已下載的資料夾`gtkwave64`包括一個稱作`gtkwave.exe`的應用程式，該應用程式位於`bin`資料夾內。按兩下該應用程式啟動GTKWave。在應用程式頂端，按一下「**File**」（檔案）–「**Open New Tab**」（開啟新索引標籤），然後開啟在資料夾`[RVfpgaPath]/RVfpga/Labs/Lab7/71_7SegDispl/.pio/build/swervolf_nexys`中產生的`trace.vcd`檔。

7. 在模擬中包含以下訊號（進入參考模組找到每個訊號）：
  - `rvfpgasim – swervolf – syscon – SegDispl_Ctr`
    - ✓ 輸入訊號：***Enables\_Reg***和***Digits\_Reg***。
    - ✓ 輸出訊號：***AN***和***Digits\_Bits***。
8. 分析如圖13所示的模擬。最初，八個7段顯示器上顯示的值均為0（最初所有位數字均啟用為***Enables\_Reg* = 0**）。隨後，我們透過將***0xFC***寫入***Enables\_Reg***（圖12中的sb指令）停用最左邊的六位數字，然後透過將***0x71***寫入***Digits\_Reg***（圖12中的sw指令）向最右邊的兩位數字寫入***71***。對輸出訊號的影響如下（如圖13所示）：
  - 在第一段期間：***AN = 0xFE***且***Digits\_Bits = 0x4F***，因此最右邊的一位數字（第0位數字）上顯示***1***。
  - 在第二段期間：***AN = 0xFD***且***Digits\_Bits = 0x0F***，因此下一位數字（第1位數字）上顯示***7***。
  - 在接下來的六段期間：***AN = 0xFF***且***Digits\_Bits = 0x01***，因此最左邊的六位數字熄滅。
  - 此程序隨後重複進行。

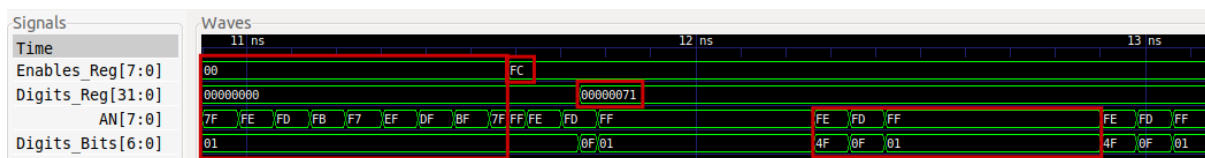


圖13. 在8位7段顯示器最右邊的兩位數字上寫入值***71***

9. 在繼續操作之前，請不要忘記將***COUNT\_MAX***的值恢復為其原始值（***COUNT\_MAX = 20***）。

## 6. 進階練習

**練習3.** 修改本實驗中所述的控制器，以便8位7段顯示器可以顯示ON/OFF LED的任意組合。

- 現在不需要啟用暫存器，而是需要八個7位元暫存器。名稱如下：***Segments\_Digit0-Segments\_Digit7***，八個7段顯示器各對應一個名稱。其中每個暫存器的每個位元用於指示相應段是ON（0）還是OFF（1）。例如，如果第一個暫存器（***Segments\_Digit0***）的所有位元均為0，則最右邊的一位數字的所有段均為ON；而如果第一個暫存器的所有位元均為1，則最右邊的一位數字的所有段均為OFF。

- 可以將這兩個新暫存器映射到我們之前使用的相同位址（先刪除之前的兩個暫存器 *Enables\_Reg* 和 *Digits\_Reg*）：
  - Segments\_Digit0  $\leftrightarrow$  位址0x80001038
  - Segments\_Digit1  $\leftrightarrow$  位址0x80001039
  - ...
  - Segments\_Digit7  $\leftrightarrow$  位址0x8000103F
- 請注意，不再需要4-7譯碼器（模組 **SevenSegDecoder**），因為程式提供的資訊已被譯碼。

**練習4.** 使用新控制器在8位7段顯示器上顯示以下內容：「I SAY HI」。與往常一樣，同時實作程式的RISC-V組合語言程式碼版本和C版本。