

基于 SYSBIOS 的 EtherCAT 开发例程

Revision History

Draft Date	Revision No.	Description
2018/06/19	V1.2	1. 内容勘误，例程排版更新。
2017/08/10	V1.1	1. 排版修正。
2017/06/01	V1.0	1. 初始版本。

创龙

目 录

1 单从站测试	3
1.1 开发环境说明	3
1.2 编译从站工程并加载到开发板	4
1.3 主站加载 ESI 文件	8
2 多从站测试	13
2.1 实验说明	13
2.2 扫描、控制从站	14
3 主/从站测试（开发板作从站）	17
3.1 开发环境说明	17
3.2 编译从站例程并启动从站开发板	18
3.3 编译主站程序	19
3.4 生成 EcMasterDemo 工程 ENI 配置文件	22
3.5 主/从站通信测试	27
4 主/从站测试（伺服电机开发）	28
4.1 开发环境说明	29
4.2 生成 MasterMotor 工程 ENI 配置文件	29
4.3 编译 EcMasterDemo 工程	35
4.4 加载 EcMasterDemo 工程到开发板并运行	41
更多帮助	45

1 单从站测试

表 1

开发板型号	是否支持本实验
TL335x-EVM	不支持
TL3359-IDK	支持

1.1 开发环境说明

➤ 实验硬件：TL3359-IDK 开发板、PC

由于从站测试需要使用 AM335x 开发板的 PRU 网口，目前仅 AM3359 具有 PRU 协处理器，因此仅 TL3359-IDK 开发板支持 PRU 网口。

➤ 实验软件：CCS6.1.3、SYSBIOS 6.41.04.54、am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8.zip、EC-Engineer（免费试用版，需要定期更新）。

➤ 实验说明

本实验实现 PC 作为主站，TL3359-IDK 开发板作为从站，PC 主站通过 EtherCAT 协议控制 TL3359-IDK 开发板 LED 的亮灭。

TL3359-IDK-A1/A2 开发板默认不支持 EtherCAT 从站，如需要作为从站硬件上要做改动，具体修改方法请联系我司技术支持。

➤ 工具包安装

双击光盘“Tools\Windows\bios_setupwin32_6_41_04_54.exe”安装包，安装 SYSBIOS 6.41.04.54 到 CCS6.1.3 安装目录下（非中文路径，CCS 默认的安装目录为“C:\ti”）

解压光盘“Demo\sysbios_EtherCAT\salve\src\am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8.zip”压缩文件到 CCS6.1.3 安装目录。解压后文件内容如下图所示：

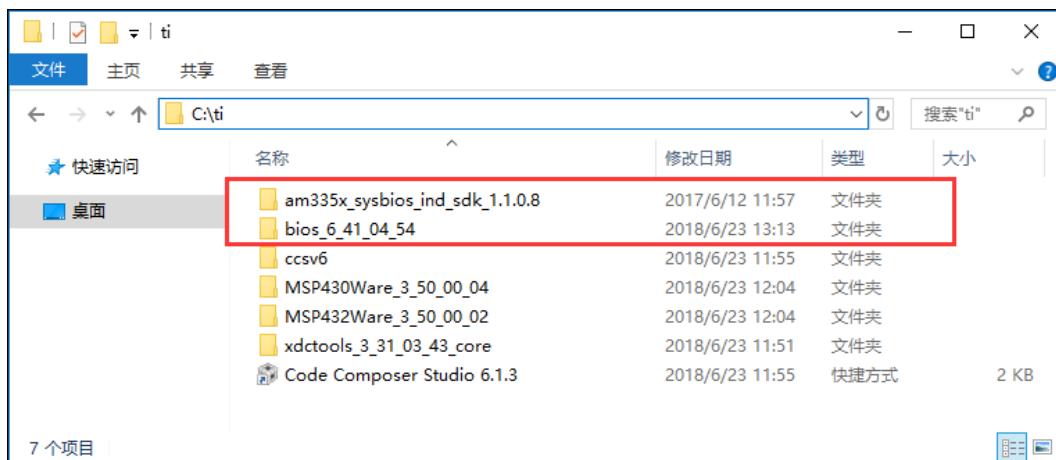


图 1

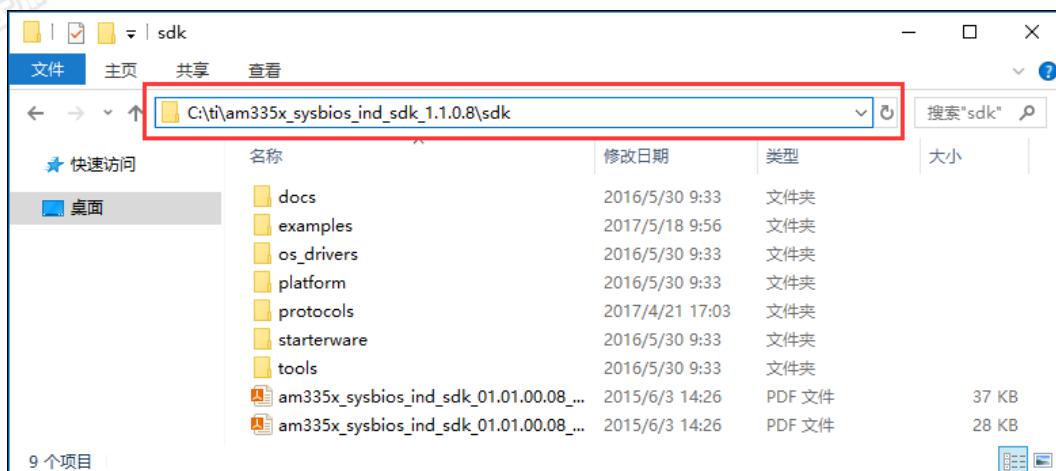


图 2

1.2 编译从站工程并加载到开发板

打开 CCS，导入“am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8\ sdk\ examples\ ethercat_slave”工程。
右击 ethercat_slave 工程，选择 Properties 选项。

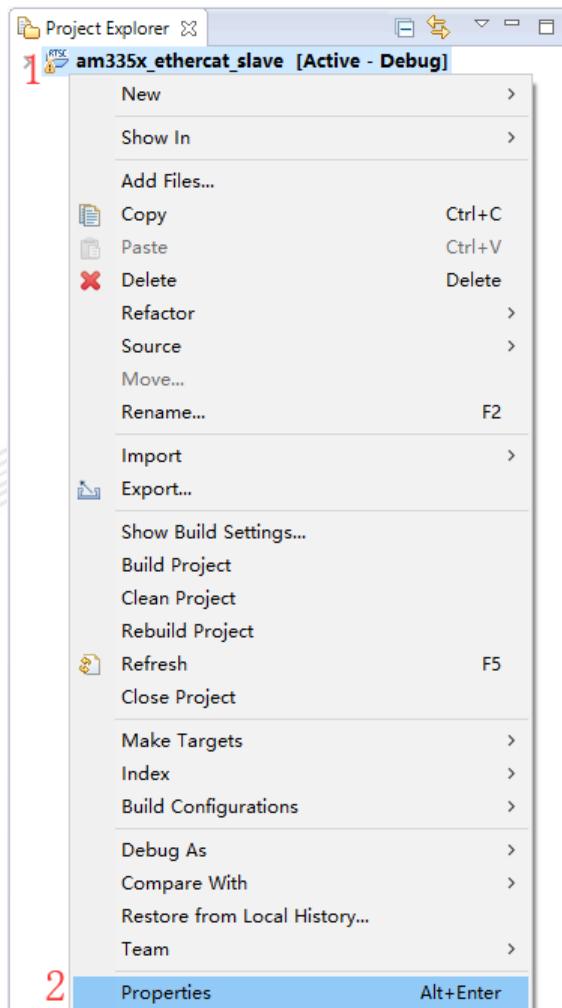


图 3

根据实际路径修改 Linked Resource 相关路径，在这里增加或者修改 IA_SDK_HOME 为“am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8\ sdk”解压的实际路径即可。

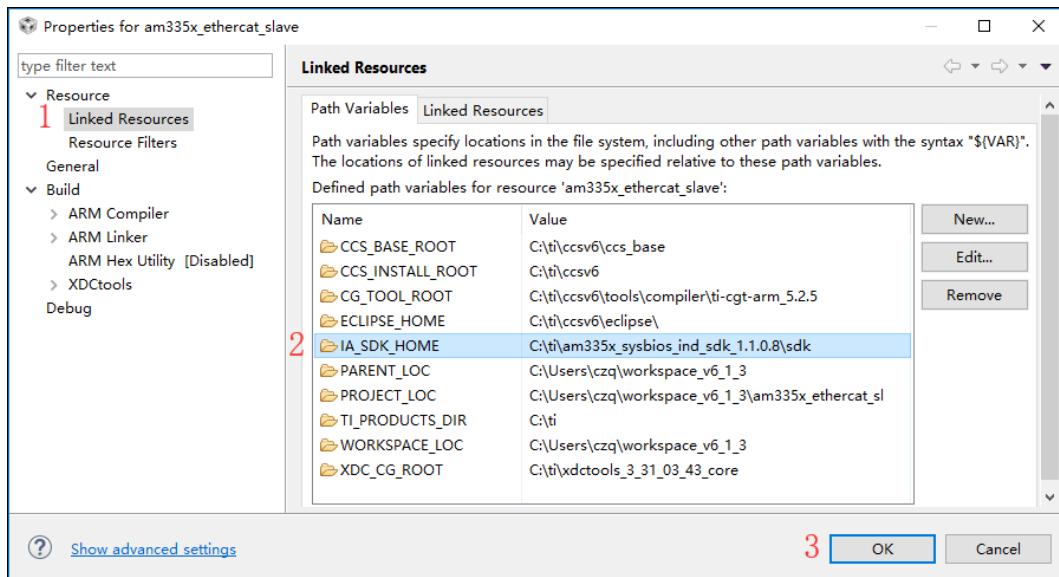


图 4

右击工程，选择 Build Project 编译工程。

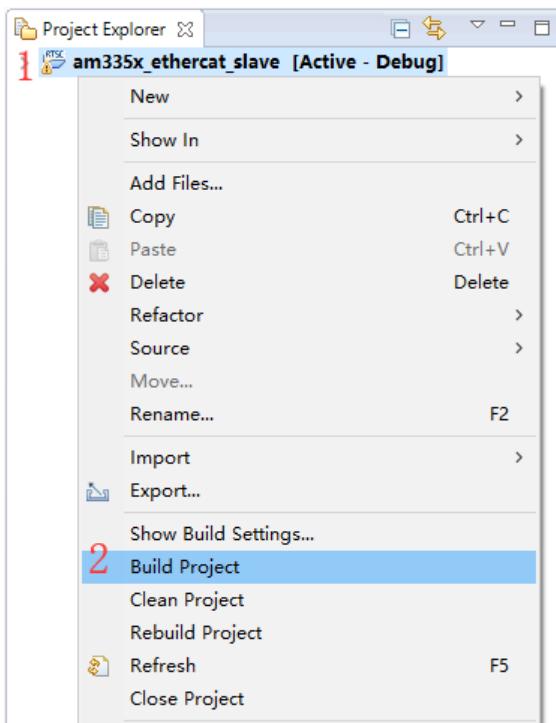


图 5

编译完成会生成 am335x_ethercat_slave.out 和 am335x_ethercat_slave.bin 文件，其中 out 文件用于仿真器下载，bin 文件用于 SD 卡启动。

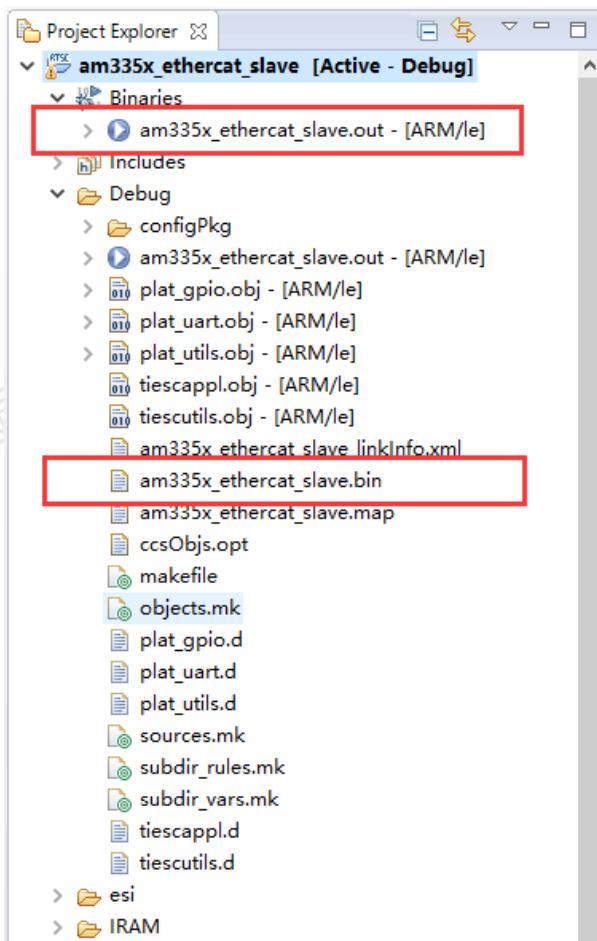


图 6

参照《基于 AM335x 的裸机开发例程使用手册》文档，通过 CCS 下载从站程序 am335x_ethercat_slave.out 到开发板，点击 CCS 上的 按钮运行程序，开发板调试串口 UART3 打印信息中含有“---Ecat_Open success---”表示程序运行正常：

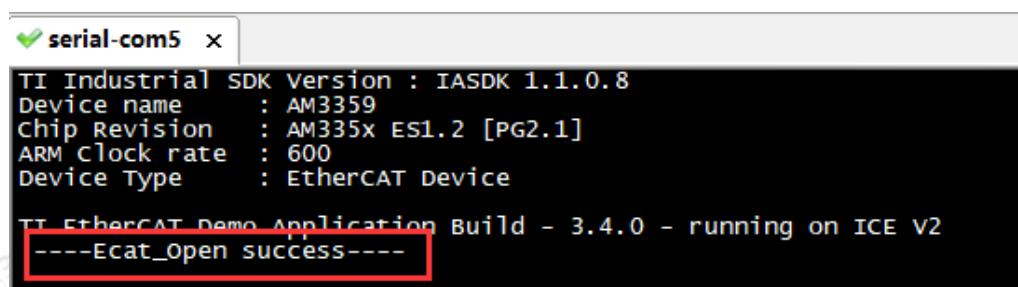


图 7

1.3 主站加载 ESI 文件

将光盘“Tools\Windows”目录下的 EC-Engineer 压缩文件(版本不定,会定期持续更新)解压并安装,用网线连接开发板 PRU ETH0 网口到 PC,同时需要确保 PC 能正常接入互联网。

打开 EC-Engineer, 点击“Online configuration”选择 Class A 工程:

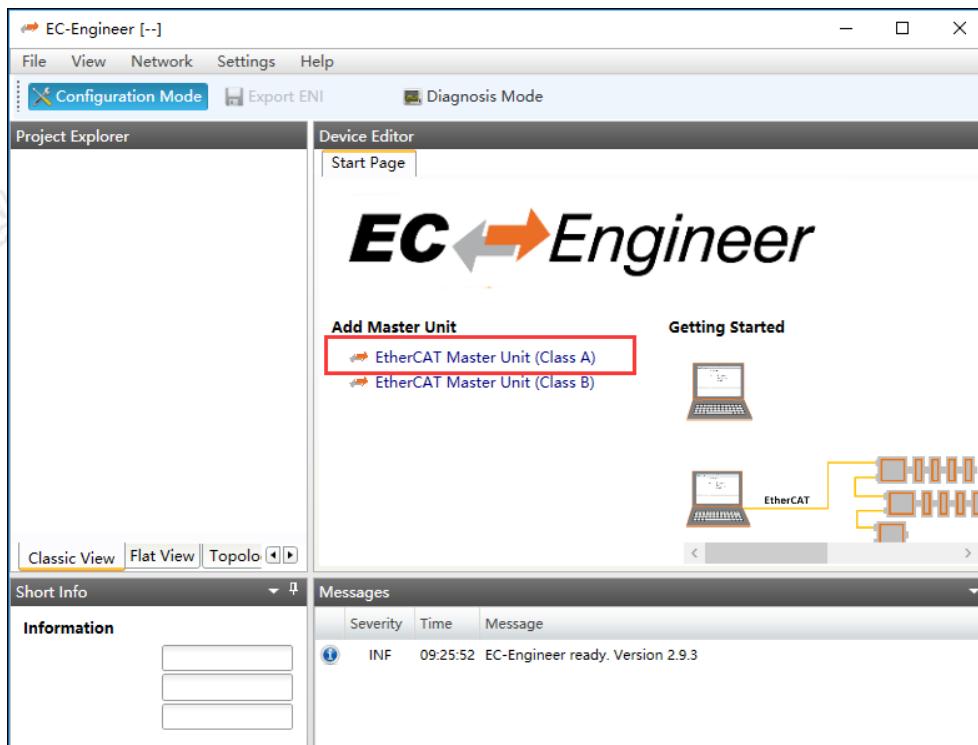


图 8

点击 “File > ESI Manager”, 加载 am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8 安装包下的 “sdk\examples\ethercat_slave\esi\TiEtherCATLib.xml”AM335x 开发板从站 ESI 文件。

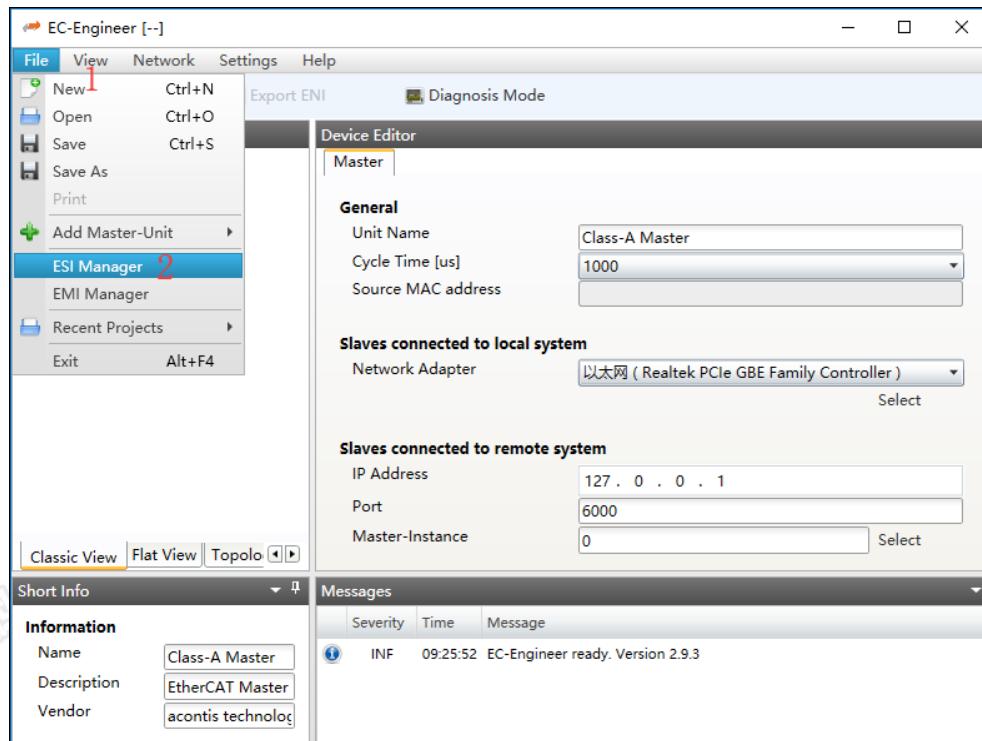


图 9

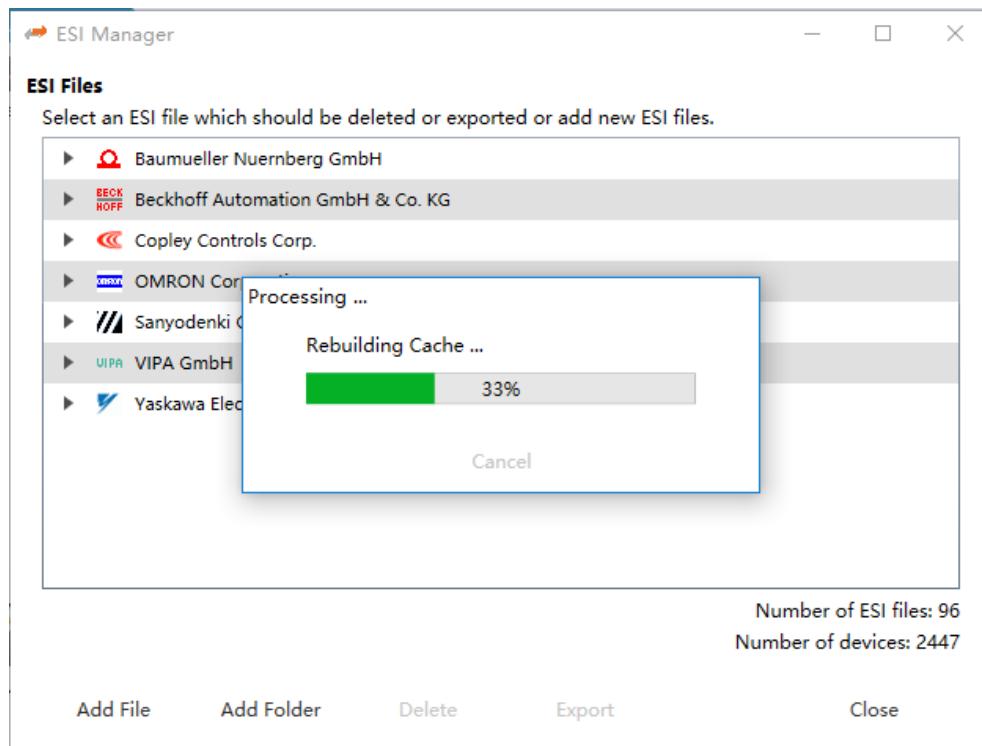


图 10

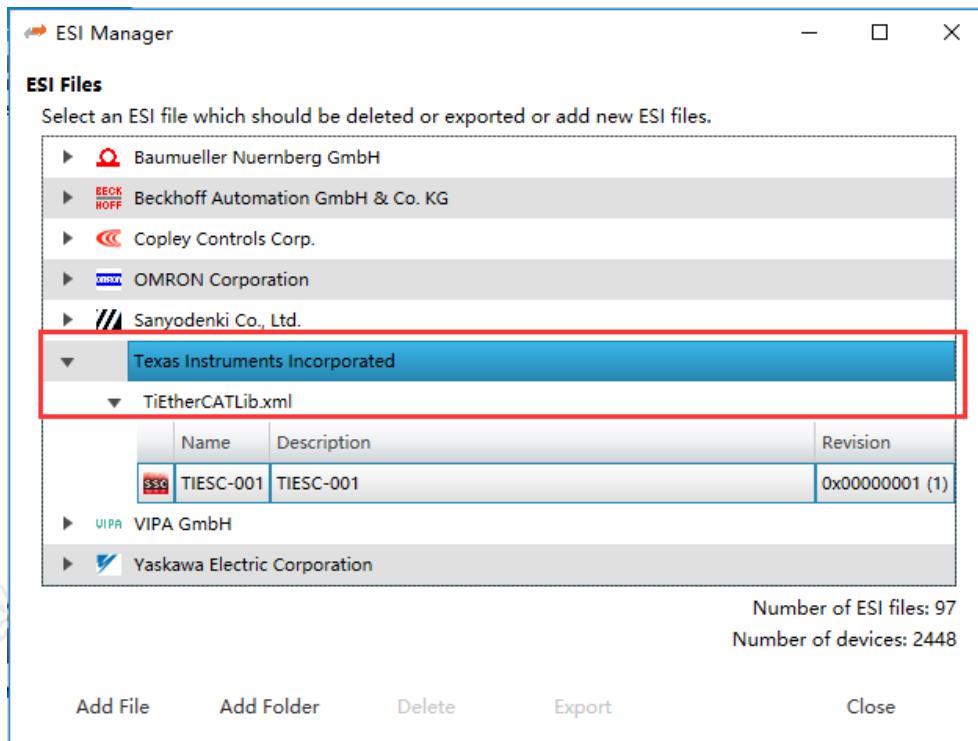


图 11

在 Network Adapter 选项栏里选择从站连接的网卡，按 Select 进行连接，连接后按钮变为 **Deselect**。点击“Network → Scan EtherCAT Network”扫描从站设备：

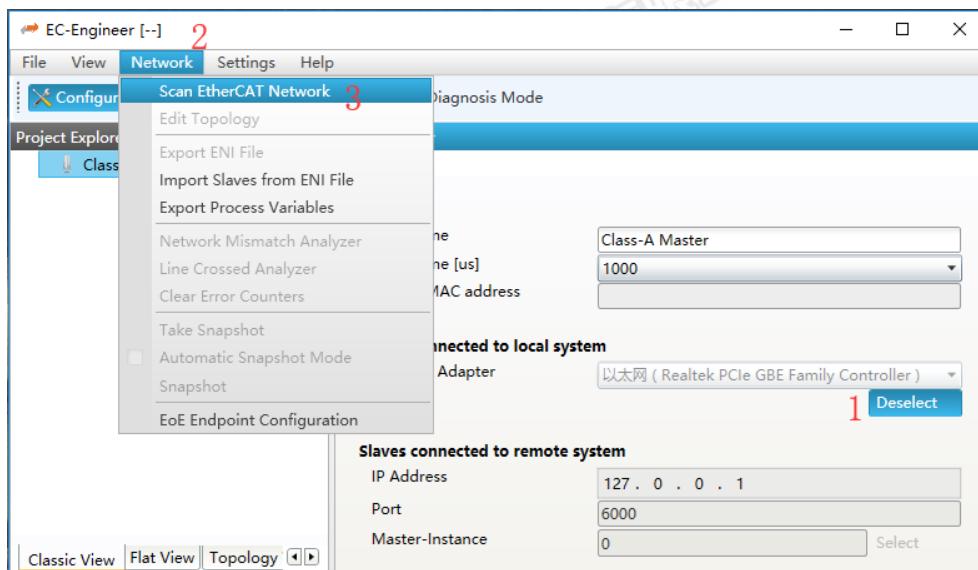


图 12

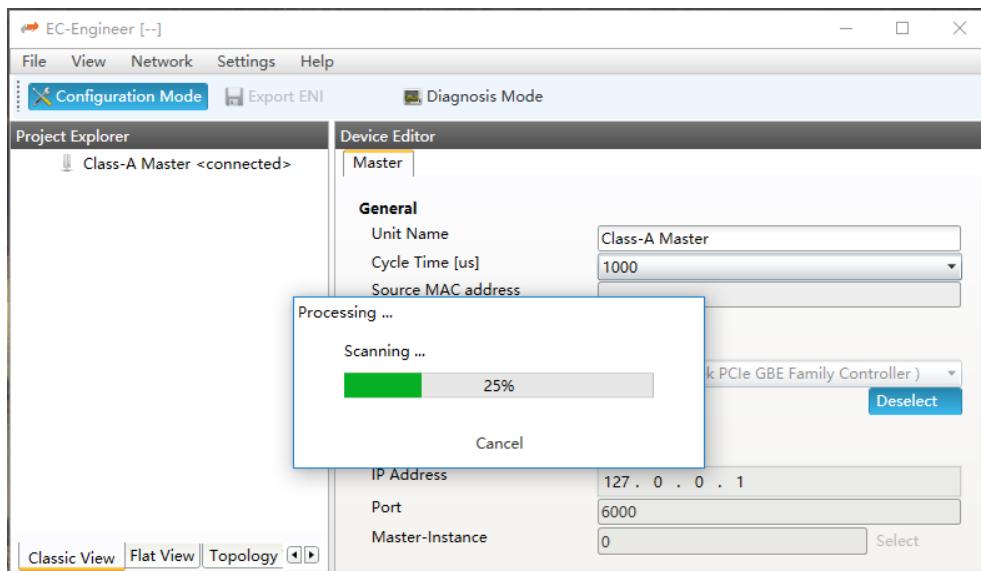


图 13

成功扫描出 AM335x 从站设备如下图所示：

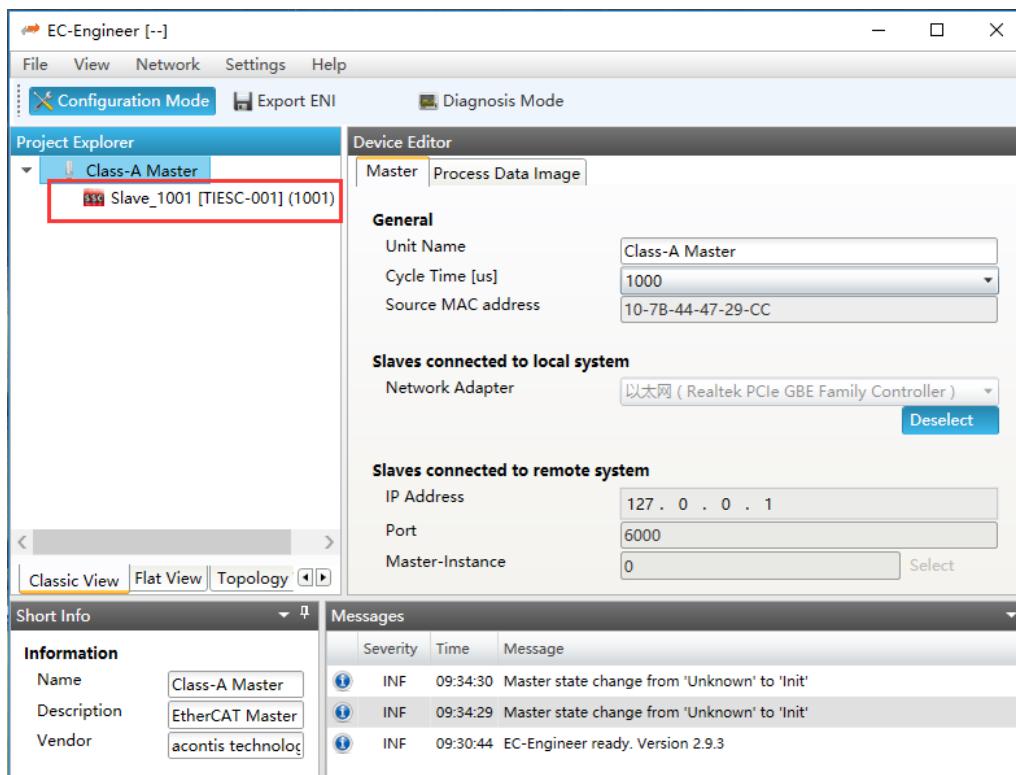


图 14

点击“Diagnosis Mode”按钮，弹出对话框中选择“是”选项，将主站切换到 OP 状态。

创龙

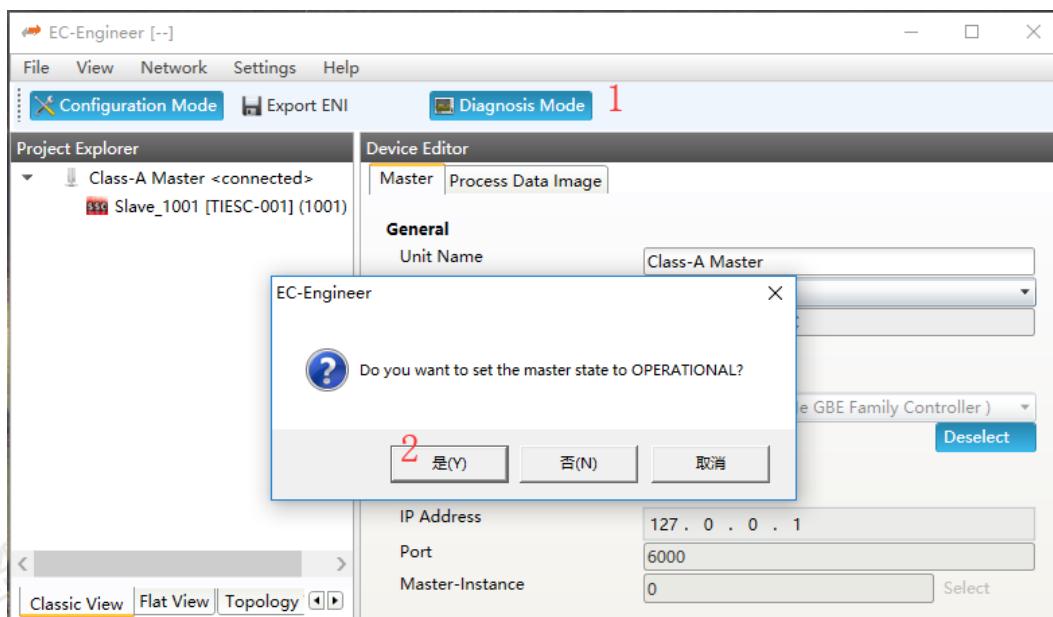


图 15

点击 Device Editer 窗口下的“Process Data Image”选项按钮。

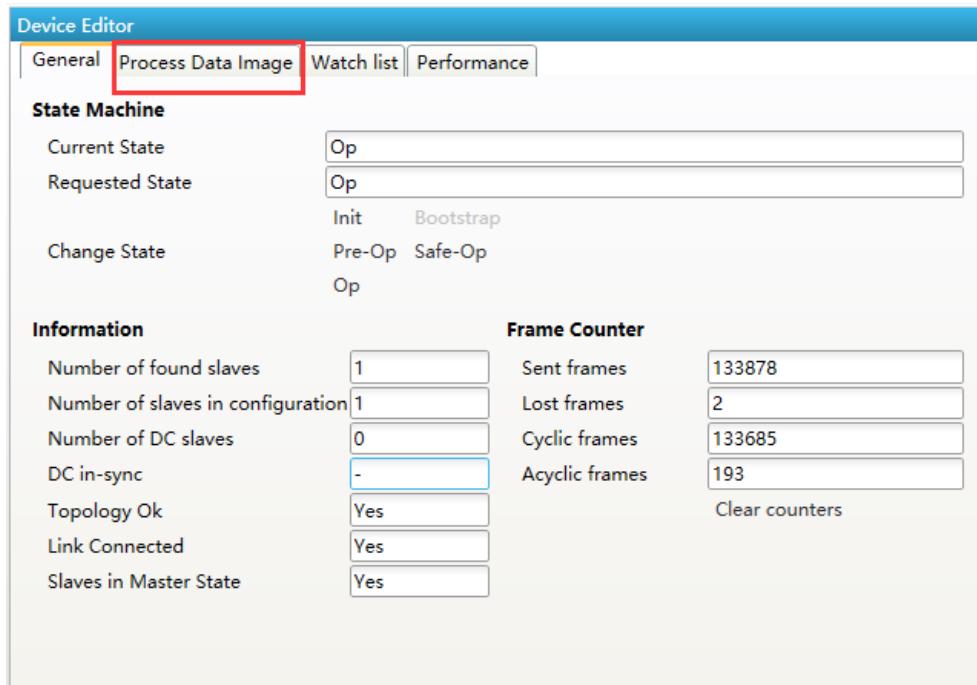


图 16

选中 Process Data Image 窗口下的 Output 选项，将 Value 的数值设置为 1，底板的 LED3 亮；设置为 2，LED2 亮；设置为 3，LED3 和 LED2 一起亮。

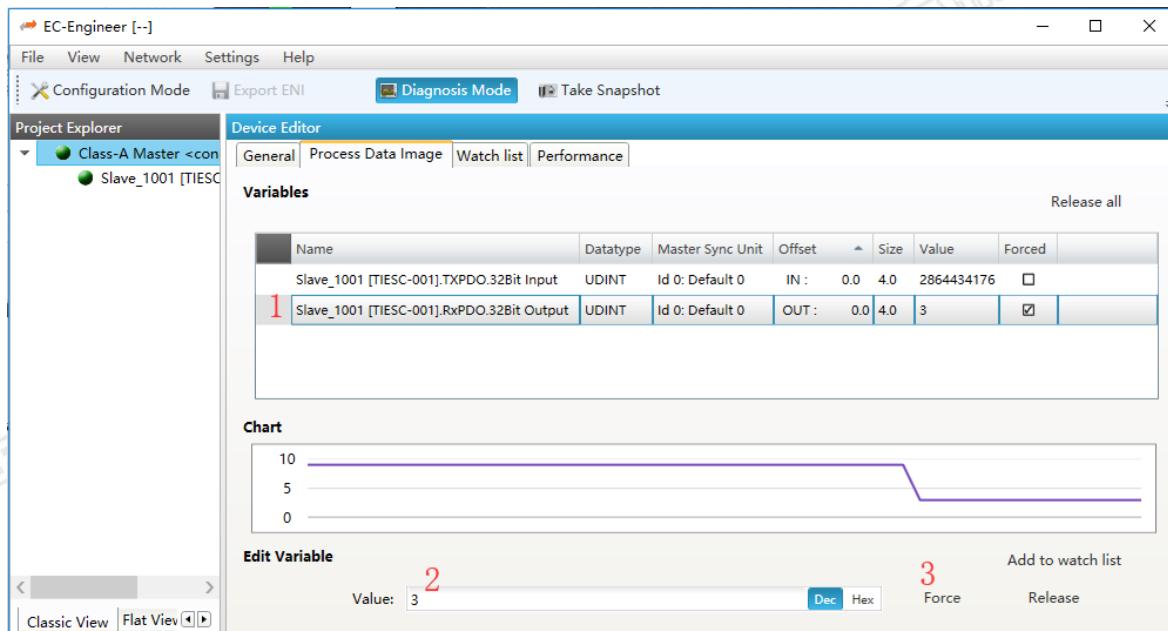


图 17

2 多从站测试

表 2

开发板型号	是否支持本实验
TL335x-EVM	不支持
TL3359-IDK	支持

➤ 实验硬件：

TL3359-IDK 开发板，SANYO RS2A03A0KA4W00 伺服驱动器。

2.1 实验说明

本实验实现 PC 作为主站，TL3359-IDK 开发板作为从站 slave1，SANYO 伺服驱动器作为从站 slave2，通过 PC 主站控制 TL3359-IDK 开发板 LED 亮灭、设置伺服驱动器的参数。

创龙

用网线连接 TL3359-IDK 开发板 PRU ETH0 网口到 PC 端，另一条网线连接 TL3359-IDK 开发板网口 PRU ETH1 到 SANYO 伺服驱动器的 CNO 网口。

参照前面章节步骤，通过 CCS 下载从站程序到 TL335x-IDK 开发板。打开 EC-Engineer，分别添加 TL335x-IDK 开发板从站的 ESI 文件和 SANYO 伺服驱动器的 ESI 文件，如下图所示：

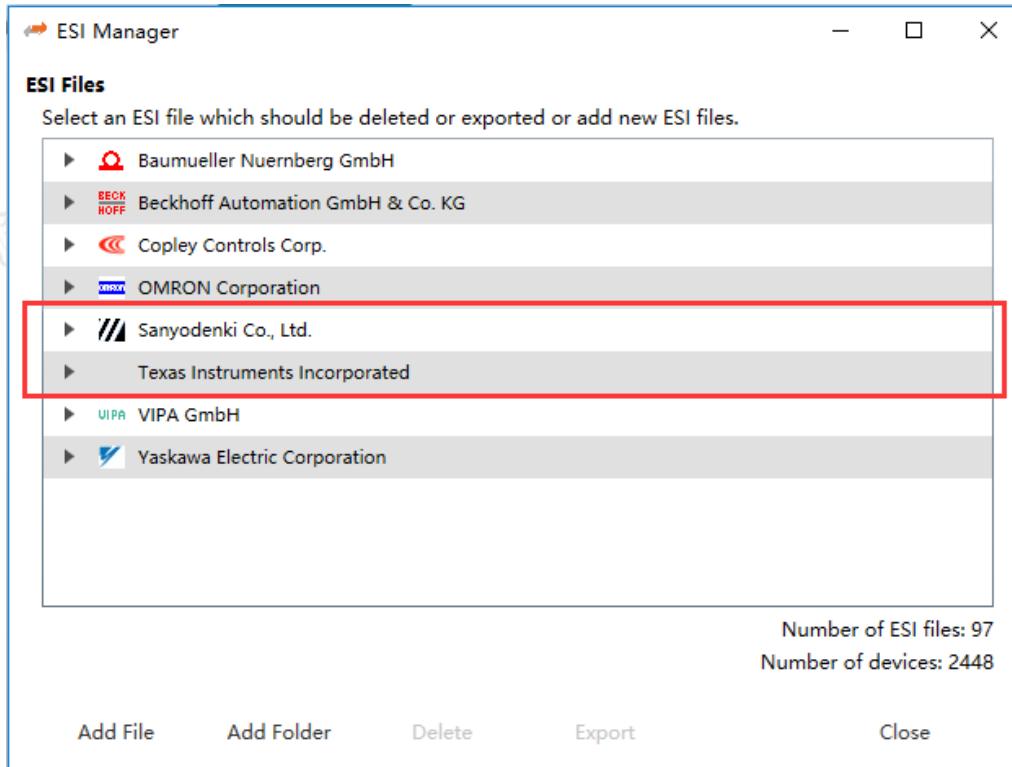


图 18

2.2 扫描、控制从站

点击“Network → Scan EtherCAT Network”扫描从站设备：

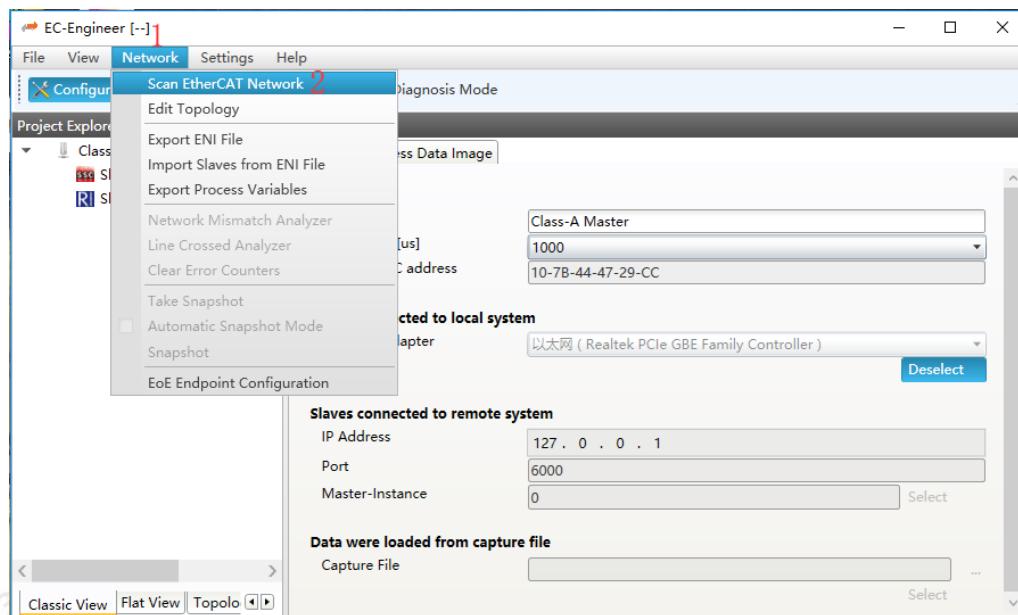


图 19

成功扫描到多个从站设备如下图所示，其中 Slave_1001 是 TL3359-IDK 开发板，Slave_1002 为 SANYO 伺服驱动器。

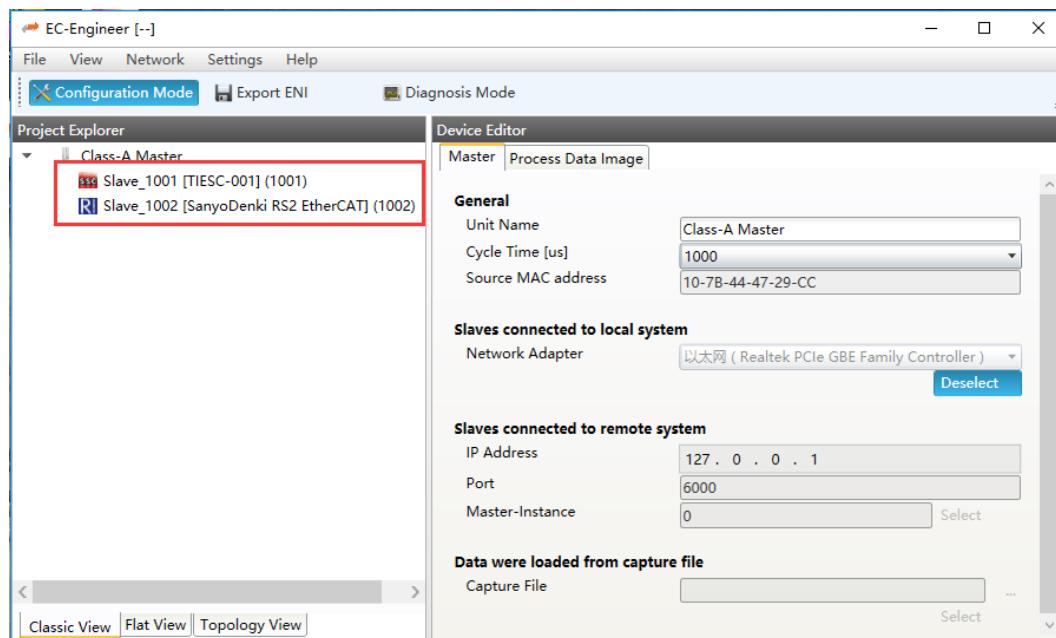


图 20

点击“Diagnosis Mode”按钮，弹出对话框中选择“是”，将主站切换到 OP 状态。

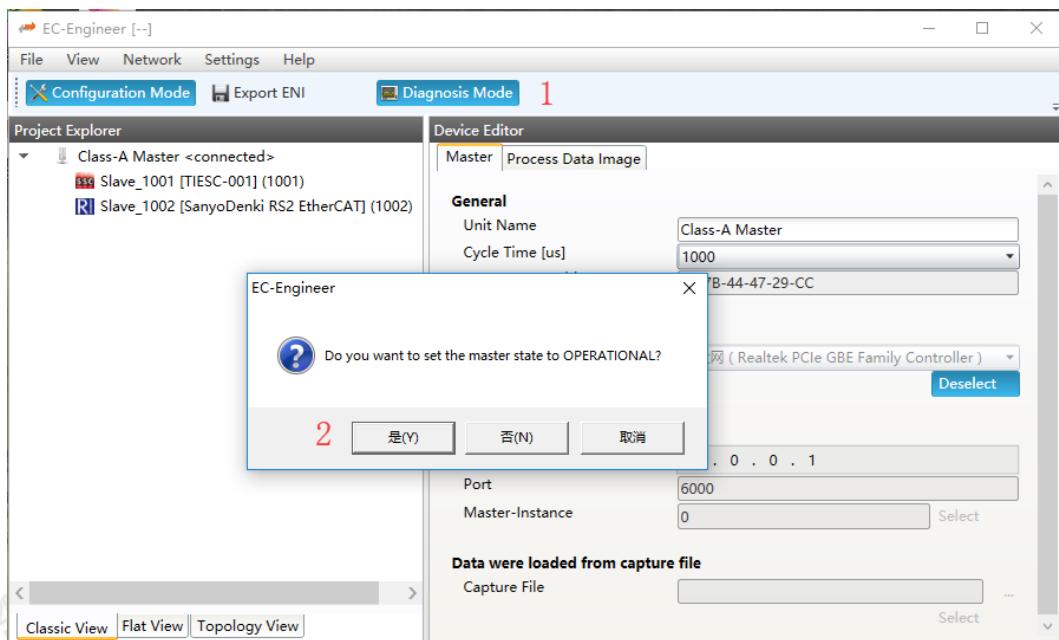


图 21

选中 Slave_1001 从站设备，可以通过 PDO 控制 TL3359-IDK 开发板的底板上 LED 的亮灭。

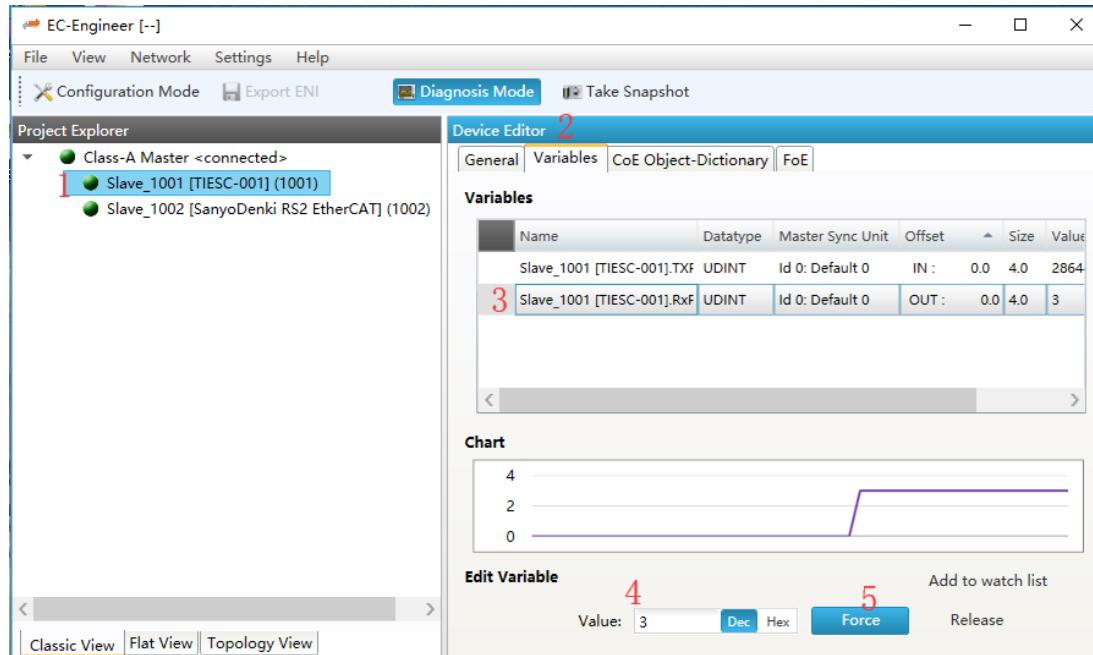


图 22

选中 Slave_1002 从站设备，可以通过 PDO 设置伺服驱动器的参数从而控制电机的运转。

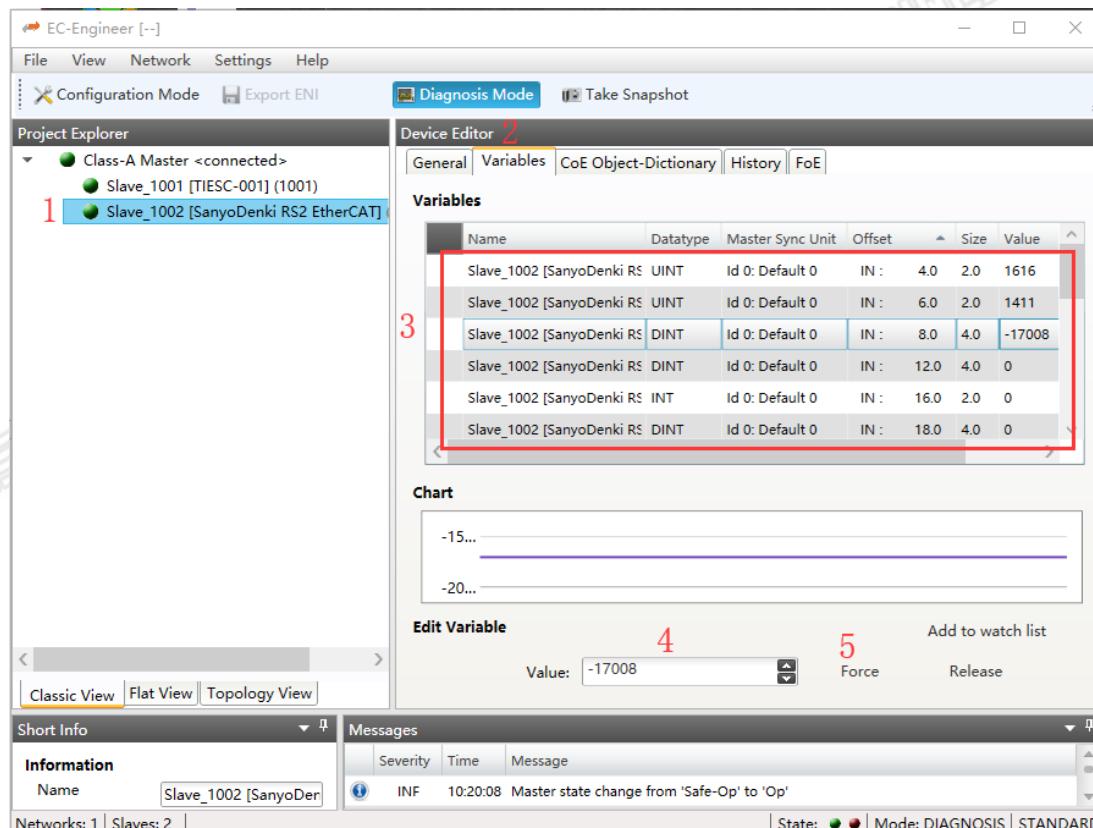


图 23

3 主/从站测试（开发板作从站）

表 3

开发板型号	是否支持本实验
TL335x-EVM	支持（仅作为主站）
TL335x-IDK	支持（可作为主/从站）

3.1 开发环境说明

- **实验硬件：**两块 AM335x 开发板（任一具有千兆网口的 AM335x 开发板可作为主站，仅 TL3359-IDK 可作为从站使用）。

创龙

➤ **实验软件:** EC-Engineer、am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8.zip（从站实验已解压）、主/从站例程（基于 SYS/BOIS）、Code Composer Studio v6.1.3 及以上版本（请安装或解压以下安装包在 Code Composer Studio v6.1.3 的安装路径下）：

- SYSBIOS 6.41.04.54
- XDC v3.30.06.67 或以上版本（CCS 安装时自动安装）
- (NDK) 2_24_02_31

➤ **安装 NDK 开发包**

NDK 网络开发包 ndk_2_24_02_31.zip 位于光盘“Tools\Windows”目录下，请将其解压到 CCS 安装目录，CCS 默认的安装目录为“C:\ti”。

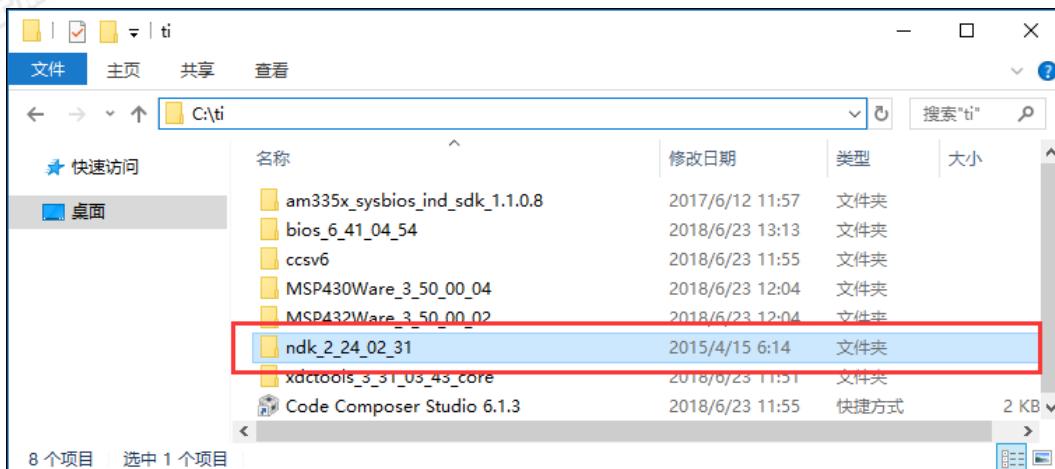


图 24

3.2 编译从站例程并启动从站开发板

打开 CCS，将前面步骤编译生成的 am335x_ethercat_slave.bin 从站工程文件重命名为 app，复制到 SD 卡 FAT32 分区（boot 分区）；将 am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8 安装包下的“sdk\starterware\binary\armv7a\cgt_ccs\am335x\evmAM335x\bootloader\boot_SD.bin”文件重命名为 MLO，复制到 SD 卡 FAT32 分区，SD 卡包含文件如下：

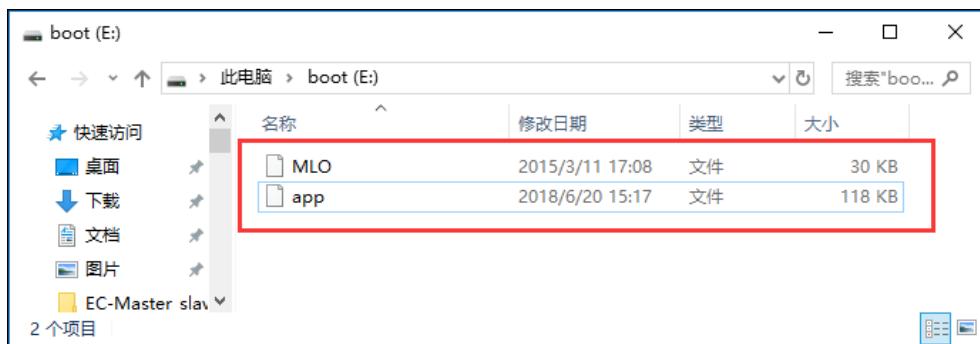


图 25

将 SD 卡插入开发板，拨码开关拨到 1~5（00010）MMC0 启动模式，开发板上电启动从站程序。如果程序上电后无法正常运行，需要按下 RESET 复位按键，调试串口 UART3 打印“---Ecat_Open success---”信息表示程序运行正常：

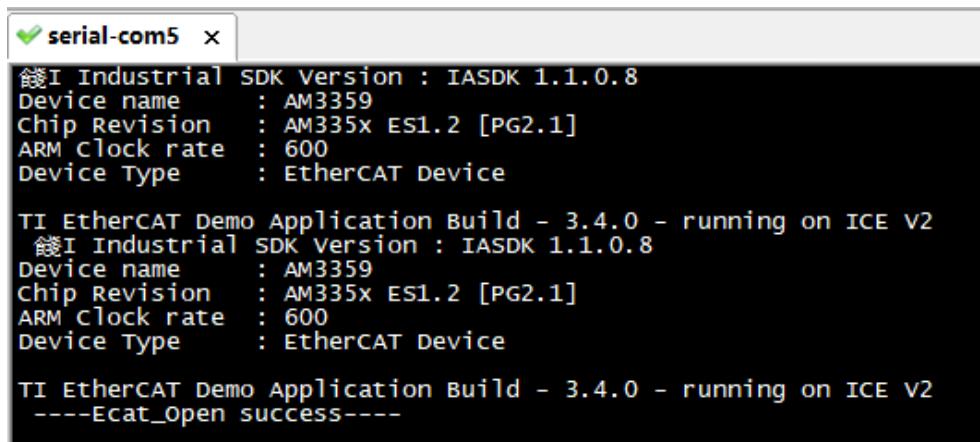


图 26

3.3 编译主站程序

将光盘“Demo\sysbios_EtherCAT\EC-Master_slave\src\EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected.zip”压缩文件解压到 PC 的非中文路径下，如下图所示。

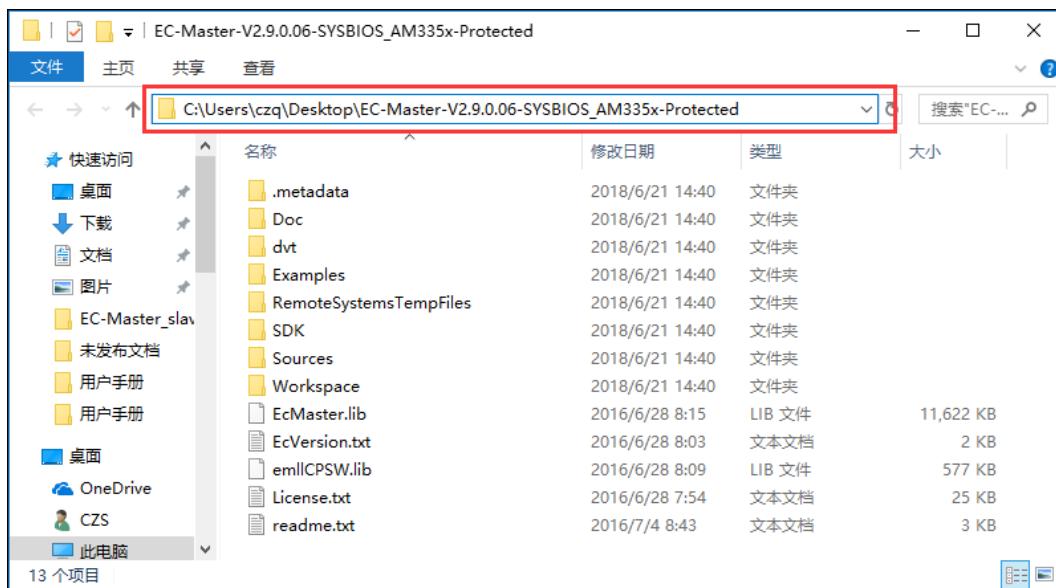


图 27

在 CCS 上导入 tl335x_EcMasterDemo 主站工程，右击该工程，选择 Properties 选项。

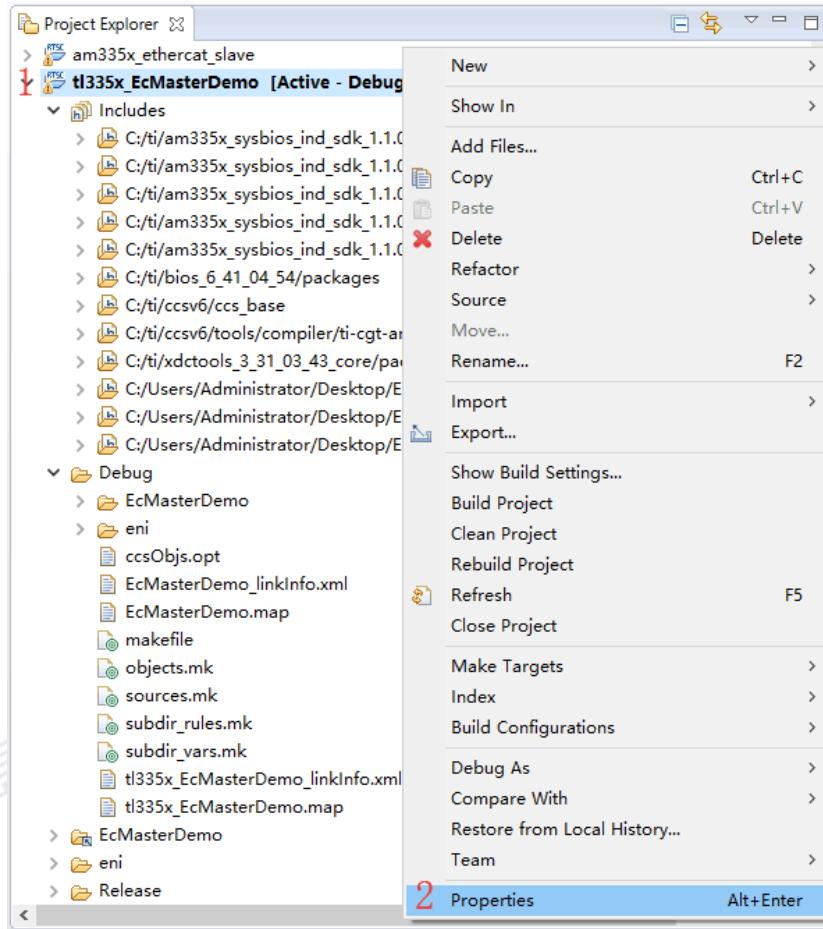


图 28

根据“EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Examples\EcMasterDemo”主站工程实际路径，修改 Linked Resources 配置选项对应路径，如下图所示：

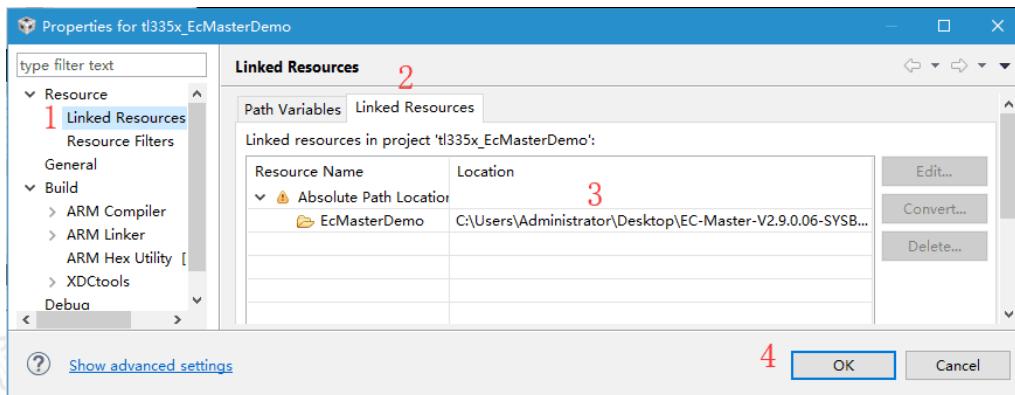


图 29

右击工程，选择 Build Project 编译工程。编译完成后生成 tl335x_EcMasterDemo.out 和 tl335x_EcMasterDemo.bin 文件。控制台打印信息如下图所示：

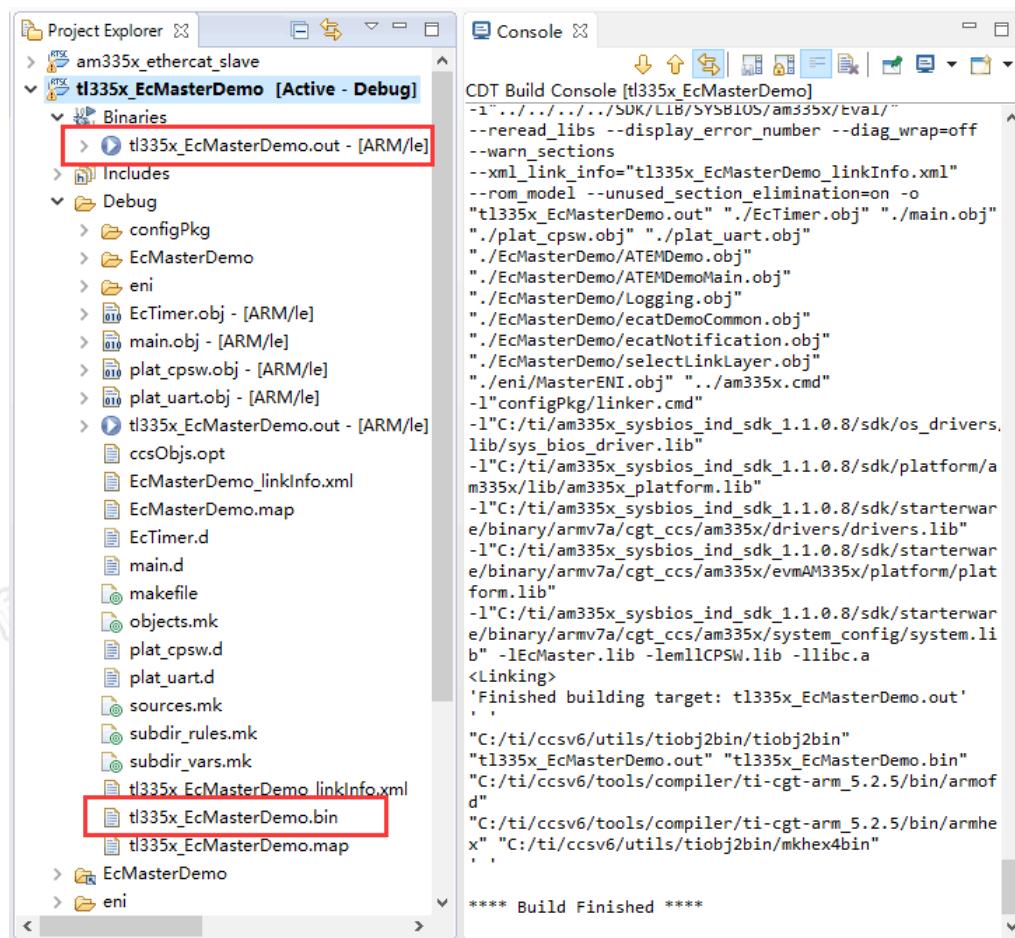


图 30

3.4 生成 EcMasterDemo 工程 ENI 配置文件

使用网线连接开发板 PRU ETH0 网口到 PC，同时需要确保 PC 能正常接入互联网。打开 EC-Engineer，参照前面方法导入 am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8 安装包下的“sdk\examples\ethercat_slave\esi\TiEtherCATLib.xml”AM335x 开发板从站 ESI 文件。在 EC-Engineer 上扫描到开发板从站，将 cycle time 设置成 100us。

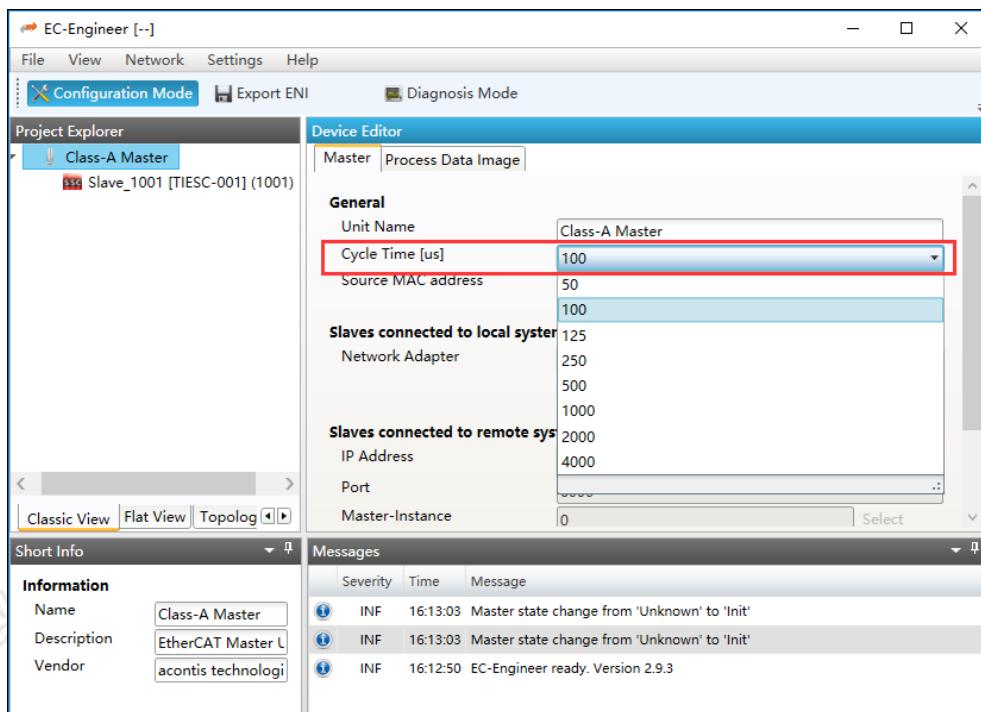


图 31

点击 Export ENI 选项生成从站的 ENI 文件，并保存到主站工程“EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni”目录下。ENI 文件名可自定，这里命名为 eni_slave_100us.xml。

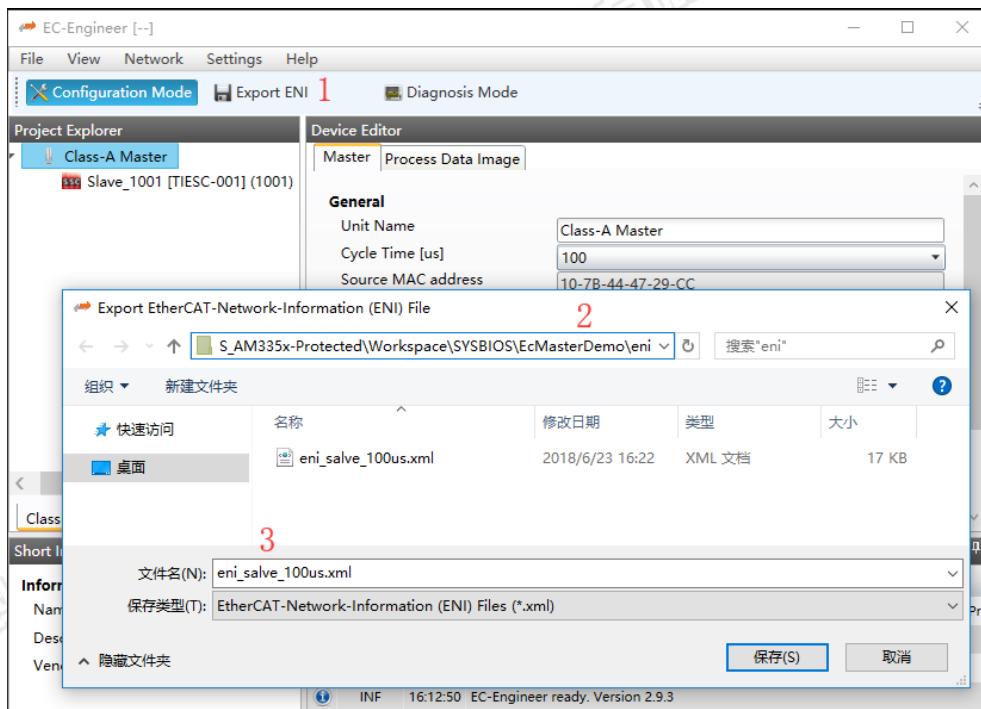


图 32

打开主站工程新生成的 ENI 文件所在路径。按住 Shift 键，单击鼠标右键打开 Powershell 窗口（Windows10 系统），若是 Windows7 系统则是打开 cmd 命令行窗口。

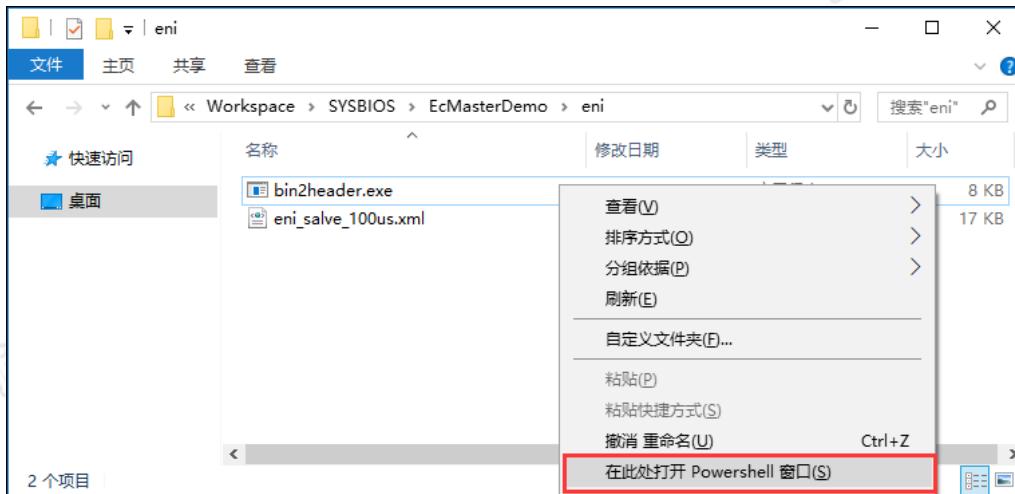


图 33

在打开的 Powershell 窗口中执行如下指令，利用 bin2header 工具将开发板 ENI 配置文件 eni_salve_100us.xml 转化生成 MasterENI.c 文件：

DOS# ./bin2header.exe eni_salve_100us.xml MasterENI.c MasterENI_xml_data

若是在 Windows7 系统则打开 cmd 命令行窗口，执行如下指令：

DOS# bin2header.exe eni_salve_100us.xml MasterENI.c MasterENI_xml_data

```
PS C:\Users\czq\Desktop\EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni> ./bin2header.exe eni_salve_100us.xml MasterENI.c MasterENI_xml_data
PS C:\Users\czq\Desktop\EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni> ls

目录: C:\Users\czq\Desktop\EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni

Mode                LastWriteTime       Length Name
----                -              -           -
-a--- 2015/2/9      18:49            7680 bin2header.exe
-a--- 2018/6/23     16:24          16671 eni_salve_100us.xml
-a--- 2018/6/23     16:37          86879 MasterENI.c

PS C:\Users\czq\Desktop\EC-Master-V2.9.0.06-SYSBIOS_AM335x-Protected\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni>
```

图 34

右键点击 eni_save_100us.xml 配置文件，选择“属性”按钮查看开发板 ENI 配置文件大小，此处查看为 16643 字节。

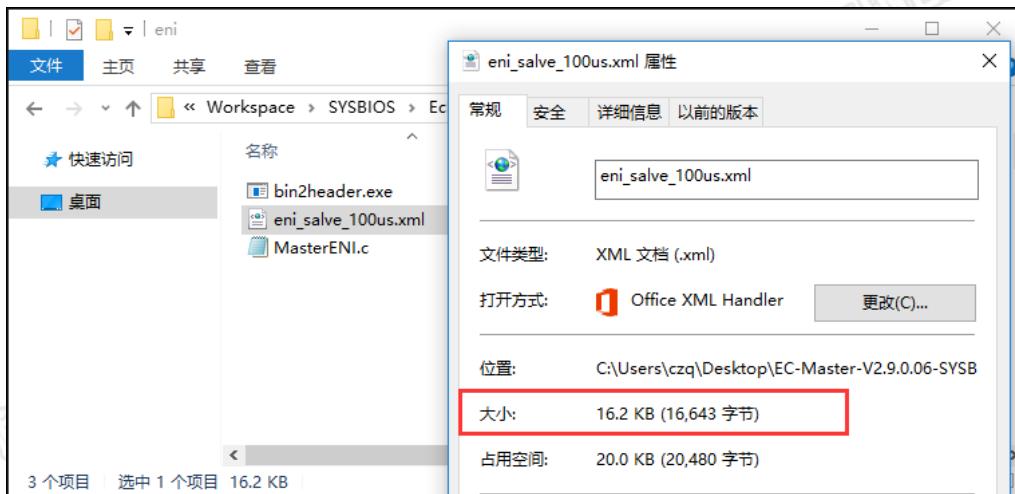


图 35

打开转化生成的 MasterENI.c 文件，按照下图方法将文件中数组名称改为 MasterENI_xml_data，并将文件的字节大小修改成与 eni_save_100us.xml 配置文件大小一致，即 16643 字节。

```

1  /* tiesc_eeprom.h
2  *
3  */
4  *
5  * Copyright (c) 2012 Texas Instruments Incorporated ALL RIGHTS RESERVED
6  *
7  */
8  unsigned int MasterENI_xml_data_size=16643;
9  unsigned char MasterENI_xml_data[] = {
10  0x3c,0x3f,0x78,0x6d,0x6c,0x20,0x76,0x65,0x72,0x73,
11  0x69,0x6f,0x6e,0x3d,0x22,0x31,0x2e,0x30,0x22,0x20,
12  0x65,0x6e,0x63,0x6f,0x64,0x69,0x6e,0x67,0x3d,0x22,
13  0x69,0x73,0x6f,0x2d,0x38,0x38,0x35,0x39,0x2d,0x31,
14  0x22,0x3f,0x3e,0x3c,0x21,0x2d,0x2d,0x20,0x43,0x72,
15  0x65,0x61,0x74,0x65,0x64,0x20,0x77,0x69,0x74,0x68,
16  0x20,0x45,0x6e,0x69,0x45,0x6e,0x67,0x69,0x6e,0x65,
17  0x20,0x2d,0x2d,0x3e,0x3c,0x45,0x74,0x68,0x65,0x72,
18  0x43,0x41,0x54,0x43,0x6f,0x6e,0x66,0x69,0x67,0x20,

```

图 36

在 CCS 上修改 ATEMConfig.h 文件 DEMO_PARAMETERS 参数，将-auxclk 后面的值改为 100，与从站 ENI 配置文件 Cycle Time 的值保持一致，点击保存。

```

97     "0"      /* Eth port */
98 #else
99     #define DEMO_PARAMETERS
100    "-auxclk 2000 -v 2 -t 10000 -perf " \
101    "-cpsw "
102    "2"      /* port */
103    "1"      /* mode */
104    "1"      /* priority */
105    "m"      /* master flag */
106    "am572x-idk" /* reference board */
107 #endif
108 #else
109     #define DEMO_PARAMETERS
110    "-auxclk 100 -v 2 -t 10000 -perf " \
111    "-cpsw "
112    "1"      /* port */
113    "1"      /* mode */
114    "1"      /* priority */
115    "m"      /* master flag */
116    "custom am33XX" /* custom board for AM33xx */
117    "0"      /* PHY address */
118    "1"      /* PHY connection mode: RGMI */
119    "0"      /* Not use DMA buffers */
120 #elif (defined EC_VERSION_RIN32M3)
121 #define TIMER_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)3) /* EtherCAT master timer tas
122 #define JOBS_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)3) /* EtherCAT master job threa
123 #define RECV_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)3) /* EtherCAT master packet re
124 #define LOG_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)14) /* EtherCAT message logger
125 #define DEMO_PARAMETERS "-auxclk 1000 -t 0 -v 2 -perf -rin32m3"
126 #elif (defined EC_VERSION_XILINX_STANDALONE)
127 #define TIMER_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)3) /* EtherCAT master timer tas
128 #define JOBS_THREAD_PRIO ((EC_T_DWORD)3) /* EtherCAT master job threa

```

图 37

右键点击工程，选择 Build Project 编译整个工程，编译生成 `tl335x_EcMasterDemo.out` 文件，控制台打印信息如下图所示：

```

CDT Build Console [tl335x_EcMasterDemo]
"./EcMasterDemo/ATEMDemoMain.obj"
"./EcMasterDemo/Logging.obj"
"./EcMasterDemo/ecatDemoCommon.obj"
"./EcMasterDemo/ecatNotification.obj"
"./EcMasterDemo/selectLinkLayer.obj" "./eni/ENI.obj"
"../am335x.cmd" -l"configPkg/linker.cmd"
-1"C:/ti/am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8/sdk/os_drivers/lib,
sys_bios_driver.lib"
-1"C:/ti/am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8/sdk/platform/am335:
/lib/am335x_platform.lib"
-1"C:/ti/am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8/sdk/starterware/bi
nary/armv7a/cgt_ccs/am335x/drivers/drivers.lib"
-1"C:/ti/am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8/sdk/starterware/bi
nary/armv7a/cgt_ccs/am335x/evmAM335x/platform/platform.lib"
-1"C:/ti/am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8/sdk/starterware/bi
nary/armv7a/cgt_ccs/am335x/system_config/system.lib"
-lEcMaster.lib -lmem1CPSW.lib -llibc.a
(linking)
'Finished building target: tl335x_EcMasterDemo.out'

"C:/ti/ccsv6/utils/tiobj2bin/tiobj2bin"
"tl335x_EcMasterDemo.out" "tl335x_EcMasterDemo.bin"
"C:/ti/ccsv6/tools/compiler/ti-cgt-arm_5.2.5/bin/armofd"
"C:/ti/ccsv6/tools/compiler/ti-cgt-arm_5.2.5/bin/armhex"
"C:/ti/ccsv6/utils/tiobj2bin/mkhex4bin"

**** Build Finished ****

```

图 38

3.5 主/从站通信测试

用网线连接主站开发板的 RGMII1 ETH 千兆网口到从站开发板 PRU ETH0 网口，从站开发板先上电运行 am335x_ethercat_slave.bin 从站程序，调试串口 UART3 打印信息中含有“---Ecat_Open success---”表示从站程序运行正常。

分别用仿真器、Micro USB 线连接主站开发板到 PC，打开串口调试终端。通过 CCS 下载 tl335x_EcMasterDemo.out 主站程序到开发板并运行，可以看到主站和从站开发板网口的黄色指示灯同时闪烁起来，表明主/从站通信正常，同时主站 UART3 打印如下信息：

```
TI Industrial SDK Version - IASDK 1.1.0.8
Device name      : AM3359
Chip Revision   : AM335x ES1.2 [PG2.1]

SYS/BIOS EcMaster sample application running on ICE V2
Full command line: -auxclk 100 -v 2 -t 10000 -perf -cpsw 1 1 1 m custom am33
xx 0 1 0

000134 : Run demo now with cycle time 100 usec
000134 : Using AuxClock
000134 : =====
000134 : Initialize EtherCAT Master
000134 : =====
000134 : EC-Master V2.9.0.06 (Protected) for SYSBIOS copyright acontis techn
ologies GmbH @ 2016
000135 : CPSW INF: Port 1, Prio 1, Flags [Polling] [Master], Phy 0, PhyInter
face 32, MAC 10:ce:a9:a8:d9:cf

000136 : CPSW INF: CPSW3G found. CPSW INF: HW-Id: 0x0019, RTL: 0, Major: 1,
Minor: 0xc
000137 : CPSW INF: PHY found. Id=0x00221622
000137 : CPSW INF: Restart PHY auto negotiation
001747 : CPSW INF: PHY auto negotiation completed
001765 : Unlicensed version, stop sending ethernet frames after 60 minutes!
001769 : Bus scan successful - 1 slaves found
001778 : 1 identical messages skipped
001778 : ****
001778 : Slave ID.....: 0x00000000
001778 : Bus Index.....: 0
001778 : Bus AutoInc Address.: 0x0000
001778 : Bus Station Address.: 0x03e9 (1001)
001778 : Bus Alias Address...: 0x0000 ( 0)
001778 : Vendor ID.....: 0xE0000059D = ----
001778 : Product Code.....: 0x54490001 = Unknown
001778 : Revision.....: 0x00000001 Serial Number: 0
001778 : ESC Type.....: Texas Instruments (0x90) Revision: 1 Build:
943
001778 : Connection at Port A: yes (to 0x00010000)
001778 : Connection at Port D: no (to 0xFFFFFFFF)
001778 : Connection at Port B: no (to 0xFFFFFFFF)
001778 : Connection at Port C: no (to 0xFFFFFFFF)
001778 : Line Crossed.....: no
001778 : cfg Station Address.: 0x03e9 (1001)
001778 : PD IN  Byte.Bit offset: 0.0 Size: 32 bits
001778 : PD OUT Byte.Bit offset: 0.0 Size: 32 bits
001917 : EtherCAT network adapter MAC: 10-CE-A9-A8-D9-CF

001917 : =====
001917 : Start EtherCAT Master
001917 : =====
001917 : Master state changed from <UNKNOWN> to <INIT>
002026 : CECMbSlave::ProcessCmdResult() Mailbox Error. MBXRCV Slave 'slave_1
001 [TIEC-001]' Error Code 0
002026 : CECMbSlave::ProcessCmdResult() Mailbox read error on slave 'slave_1
001 [TIEC-001]' (addr 0x3e9): Error 0x981101251.
002026 : Master state changed from <INIT> to <PREOP>
002066 : Master state changed from <PREOP> to <SAFEOP>
002073 : Master state changed from <SAFEOP> to <OP>
002079 : =====
002079 : Job times during startup <INIT> to <OP>:
002079 : =====
```

图 39

```

002079 : Job times during startup <INIT> to <OP>:
002079 : =====
002079 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 14.1/ 53.1
002079 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.2/ 17.5
002079 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 5.9/ 71.4
002079 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.5/ 29.8
002079 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.5/119.0
002079 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 4.9
002079 :
004079 : =====
004079 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 13.6/ 19.3
004079 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.3/ 14.0
004079 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 5.6/ 12.1
004079 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.2/ 7.8
004079 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.5/105.4
004079 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 6.1
006081 : =====
006081 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 13.5/ 19.5
006081 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.3/ 14.2
006081 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 5.7/ 12.1
006081 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.2/ 7.8
006081 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.5/105.4
006081 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 6.1
008083 : =====
008083 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 13.5/ 19.5
008083 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.3/ 14.3
008083 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 5.6/ 12.1
008083 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.2/ 7.8
008083 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.6/105.6
008083 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 6.1
010085 : =====
010085 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 13.6/ 19.5
010085 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.4/ 14.3
010085 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 5.7/ 12.1
010085 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.2/ 7.8
010085 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.5/105.6
010085 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 6.1
012082 :
012082 : job times before shutdown
012082 : =====
012082 : shutdown EtherCAT Master
012082 : =====
012083 : Master state changed from <OP> to <INIT>
012103 : =====
012103 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 13.0/ 32.6
012103 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' : (avg/max) [usec]: 8.0/ 14.3
012103 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' : (avg/max) [usec]: 4.8/ 24.5
012103 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' : (avg/max) [usec]: 1.2/ 10.8
012103 : PerfMsmt 'cycle Time' : (avg/max) [usec]: 99.5/105.6
012103 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' : (avg/max) [usec]: 0.8/ 6.1
012400 : CPSW INF: Disable running RX-DMA
012400 : CPSW INF: RX+TX DMA disabled. Delay 500
012401 : EcMasterDemo stop.

```

图 40

4 主/从站测试（伺服电机开发）

表 4

开发板型号	是否支持本实验
TL335x-EVM	支持
TL335x-IDK	支持

4.1 开发环境说明

- **实验硬件:** AM35x 开发板（作为主站），SANYO RS2A03A0KA4W00 伺服驱动器（作为从站）。
- **实验软件:** EC-Engineer（免费试用版本）、EC-Master-V2.9-SYSBIOS-Motor 工程源码、Code Composer Studio v6.1.3 及以上版本（包含以下工具包）
 - SYSBIOS 6.41.04.54
 - XDC v3.30.06.67 或以上版本
 - (NDK) 2_24_02_31

本实验以 AM35x 开发板作为主站，SANYO 伺服驱动器作为从站，通过开发板控制伺服驱动器，驱动伺服电机的运转。

4.2 生成 MasterMotor 工程 ENI 配置文件

将光盘“Tools\Windows”目录下的 EC-Engineer 压缩文件（免费试用版，会定期更新）解压并安装，使用网线将伺服驱动器的 CN0 网口连接到 PC，同时需要确保 PC 能够正常接入互联网。打开 EC-Engineer，点击“Online configuration”选择 Class A 工程：

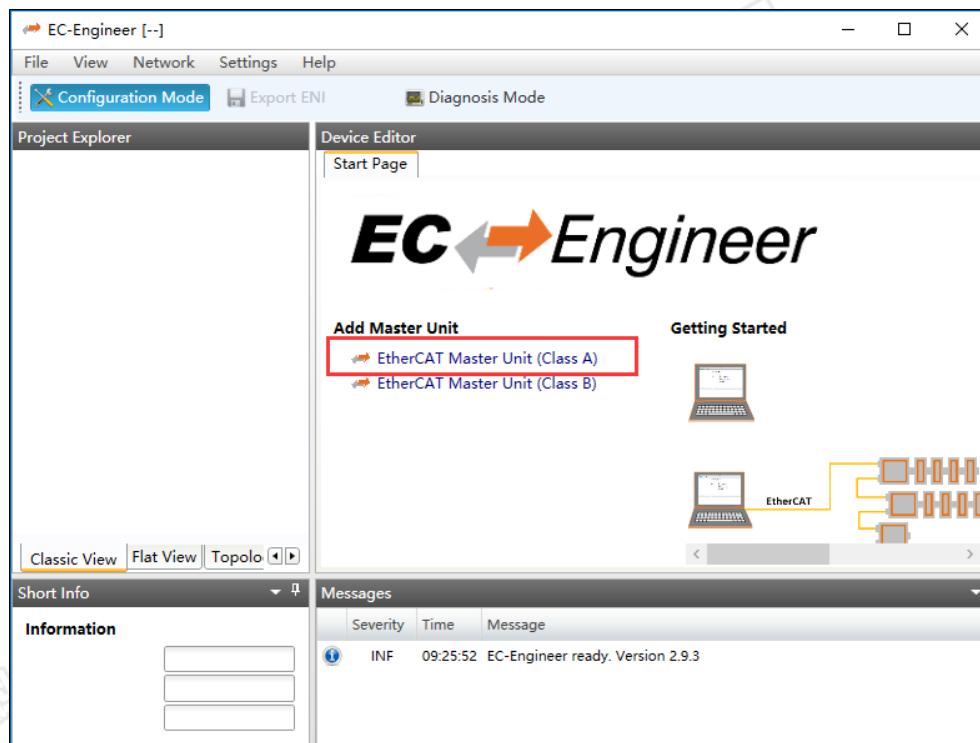


图 41

选择 File > ESI Manager，将对应厂家提供的配套从站伺服驱动器 ESI 文件添加进去：

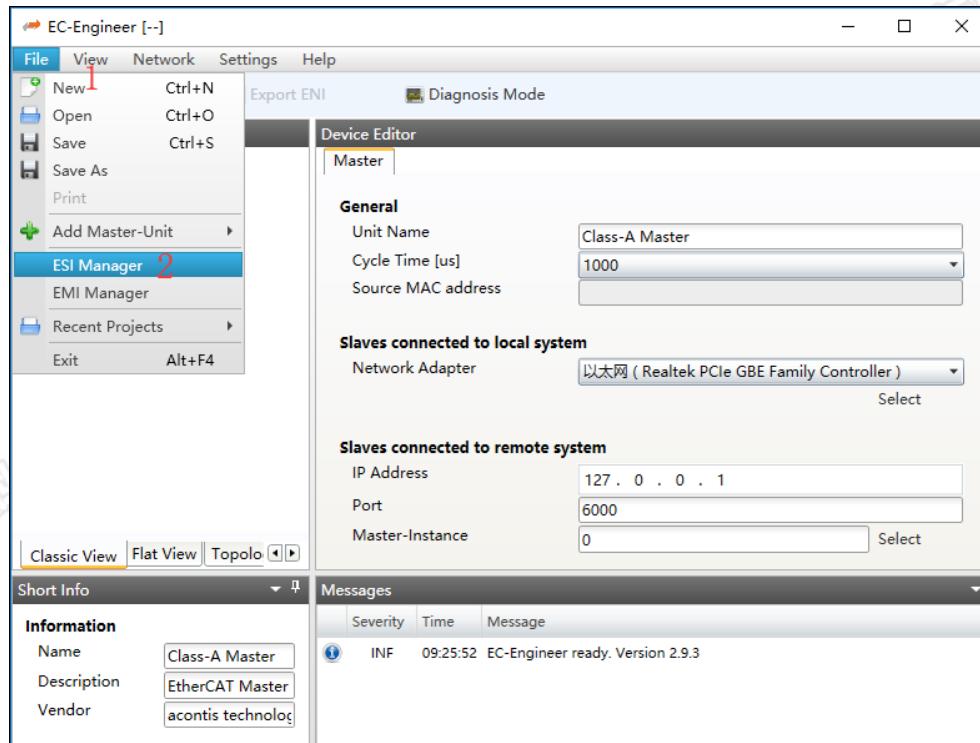


图 42

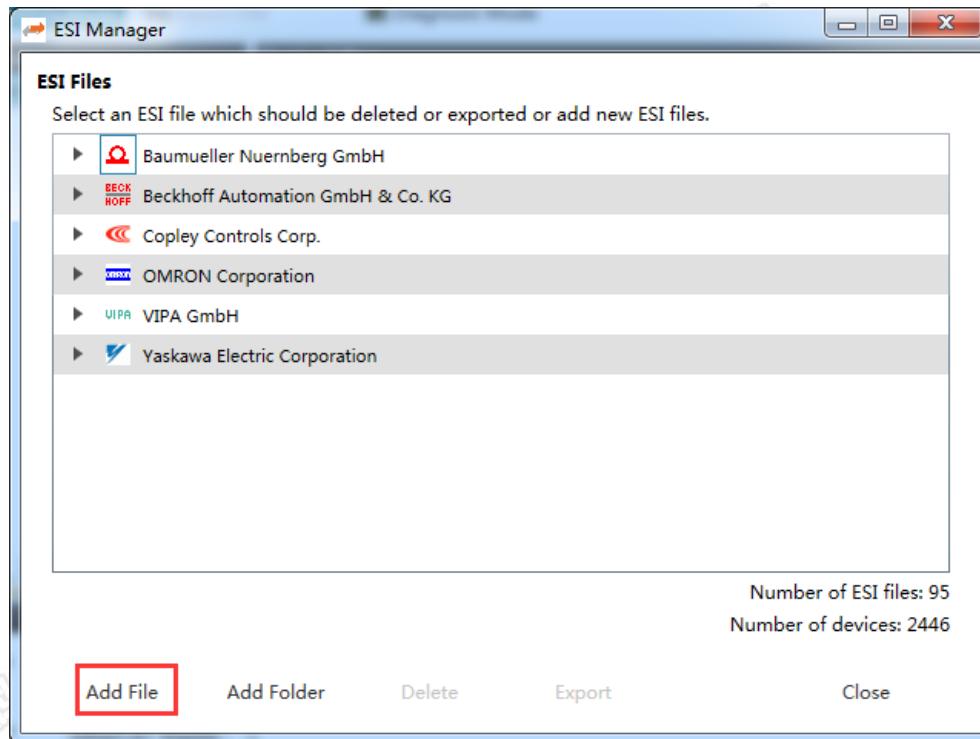


图 43

选择对应厂家提供的 ESI 文件，这里添加了 SANYO 伺服驱动器的 RS2-ECT_P0002813E01_20130601.xml 文件：

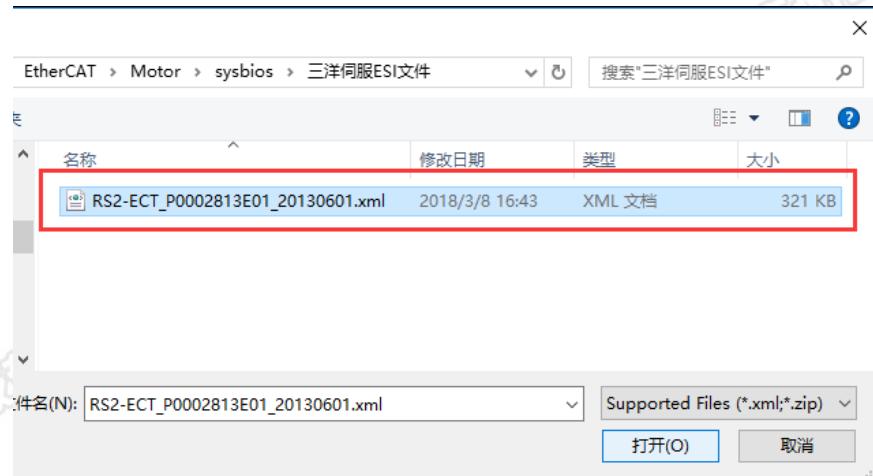


图 44

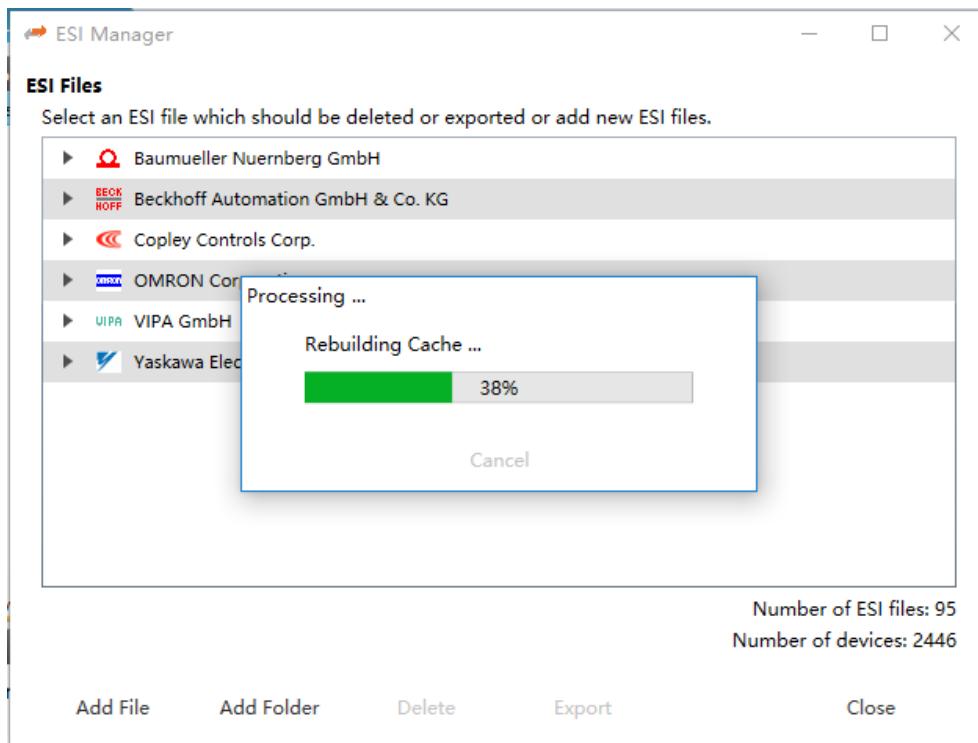


图 45

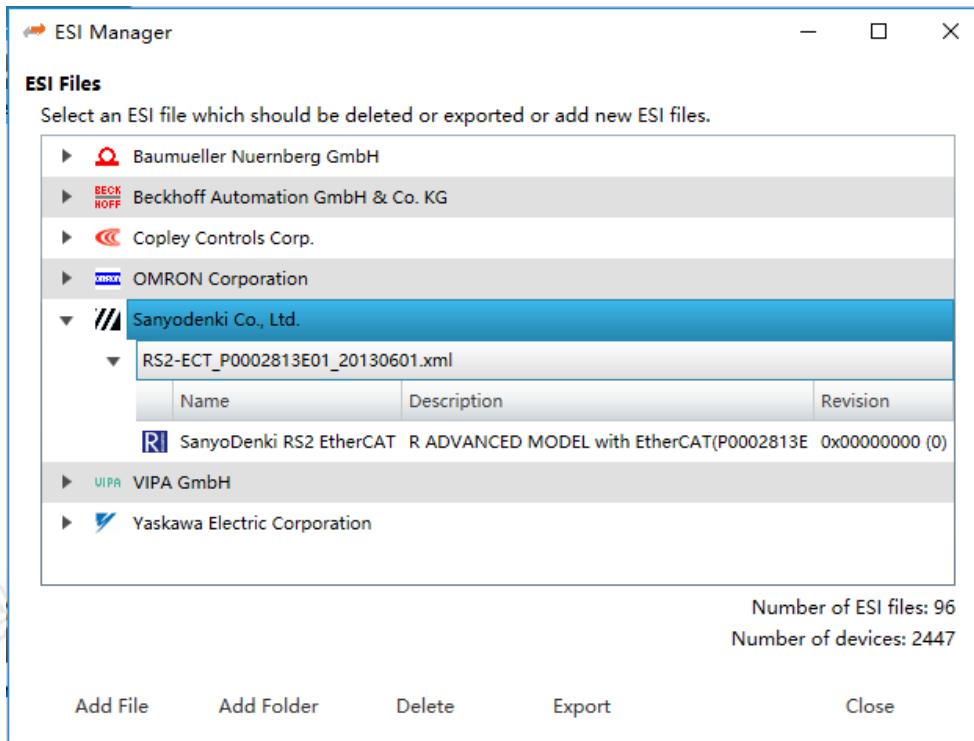


图 46

Cycle Time 选择 1000us，在 Network Adapter 选项栏里选择从站连接的网卡，按 Select 进行连接，连接后按钮变为 Deselect。 (Cycle Time 的大小可能会影响电机的抖动，具体根据实际的电机设置，此处使用 1000us。)

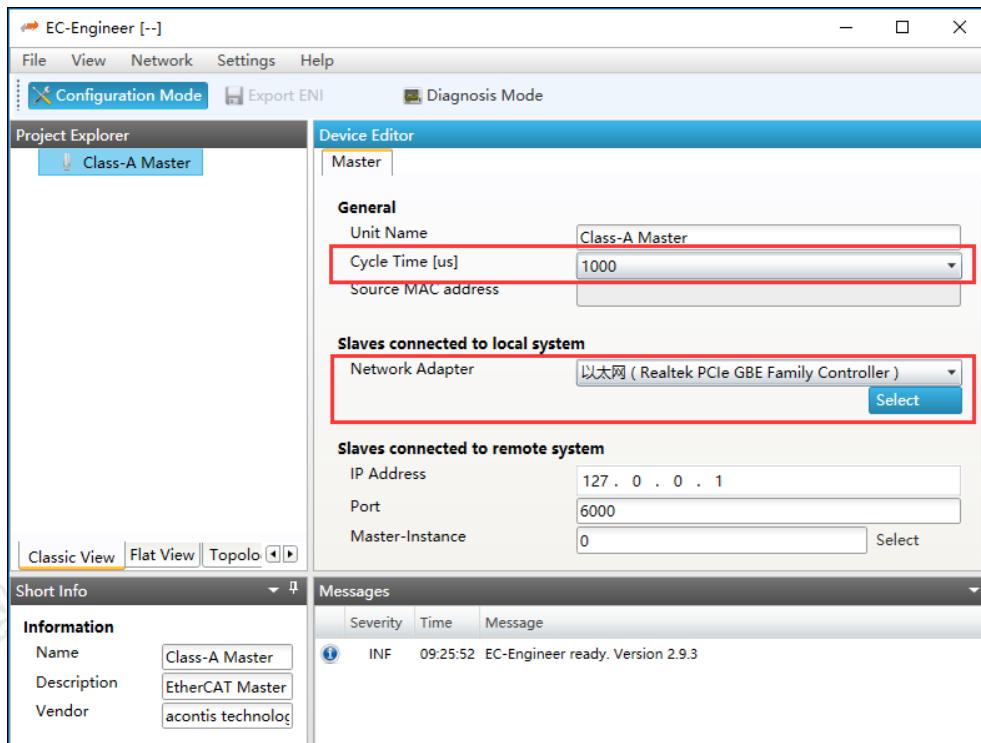


图 47

点击 Network 扫描从站设备：

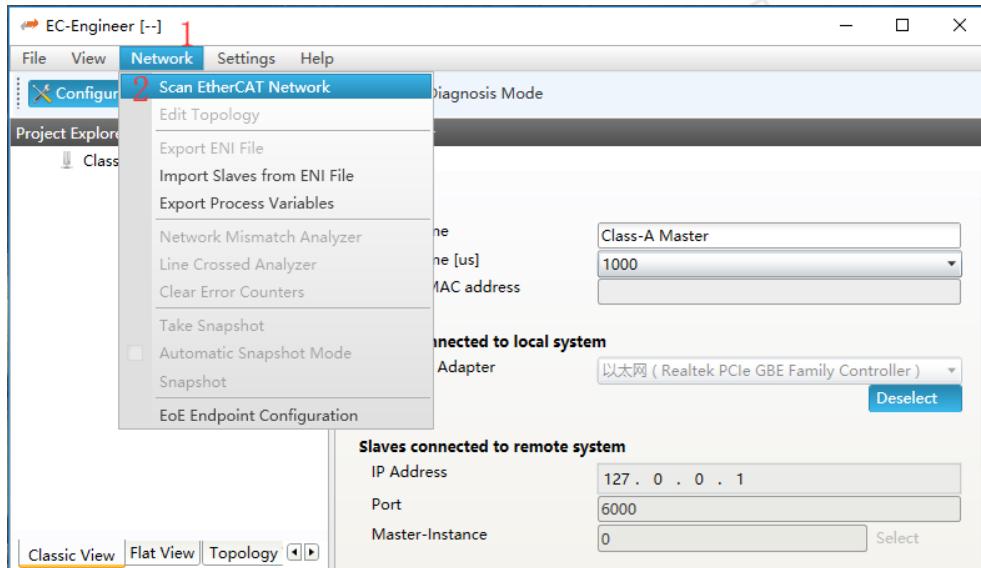


图 48

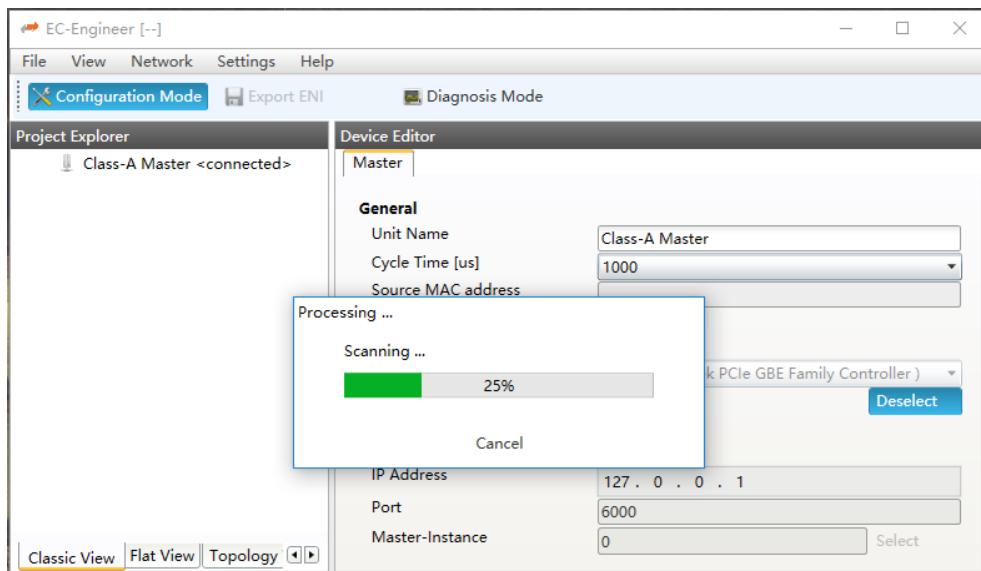


图 49

成功扫描出从站之后，选中从站设备，点击 **Exports ENI** 按钮生成从站的 ENI 文件。文件名可自拟，这里文件名设定为 **eni_SANYO_motor**，按 **Diagnosis Mode** 按钮可以观察从站信息。

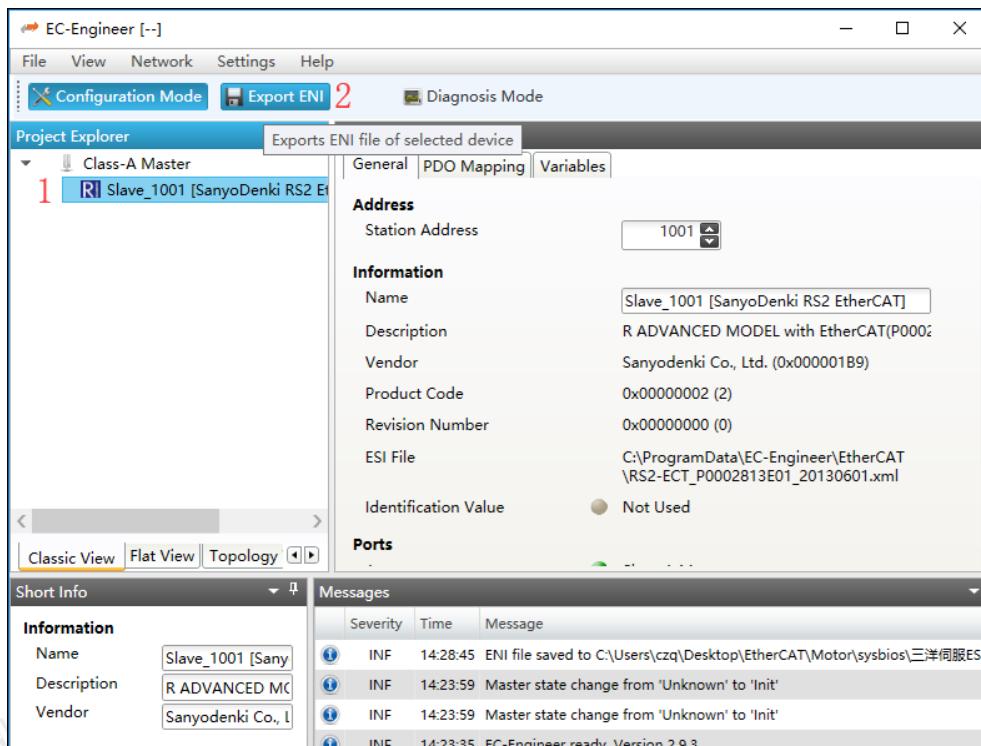


图 50

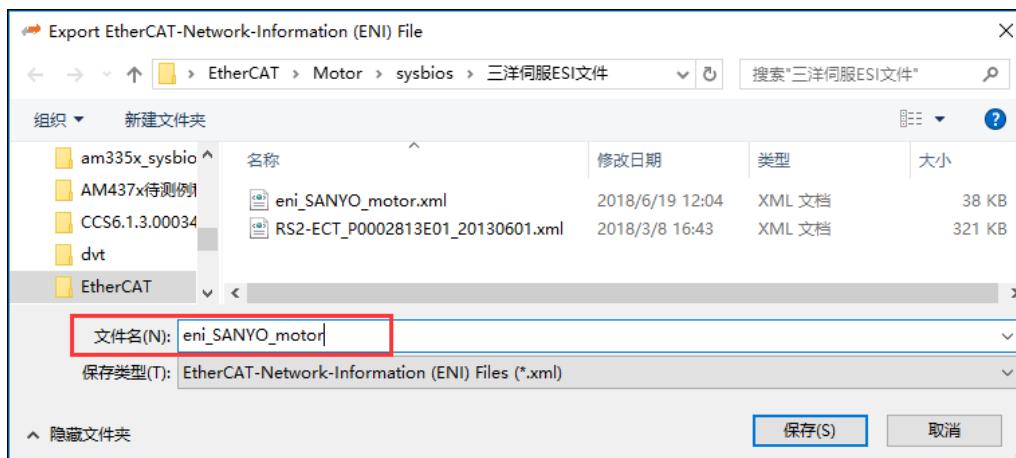


图 51

此时会在当前路径生成 eni_SANYO_motor.xml 配置文件，该文件记录了从站的配置信息，文件配置的 cycle time 为 1000us，不同型号伺服驱动器生成的 ENI 文件不同。

4.3 编译 EcMasterDemo 工程

将 EC-Master-V2.9-SYSBIOS-Motor 工程源码解压到非中文路径，将前面步骤生成的 eni_SANYO_motor.xml 配置文件复制到工程源码“EC-Master-V2.9-SYSBIOS-Motor\Motor\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni”路径下。

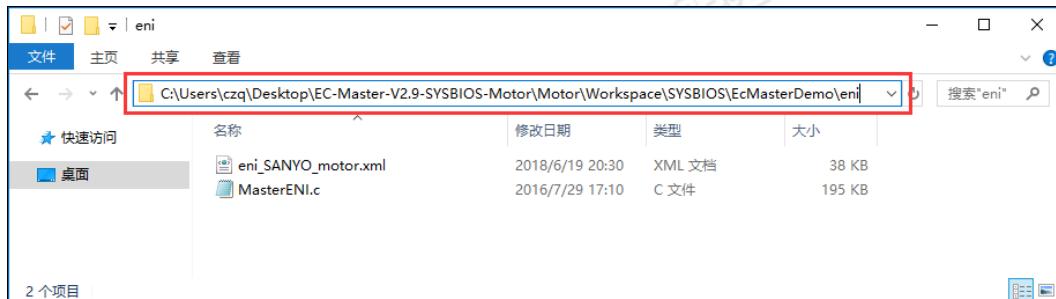


图 52

打开 CCS，导入 EcMasterDemo 电机工程，右击该工程，选择 Properties 选项。

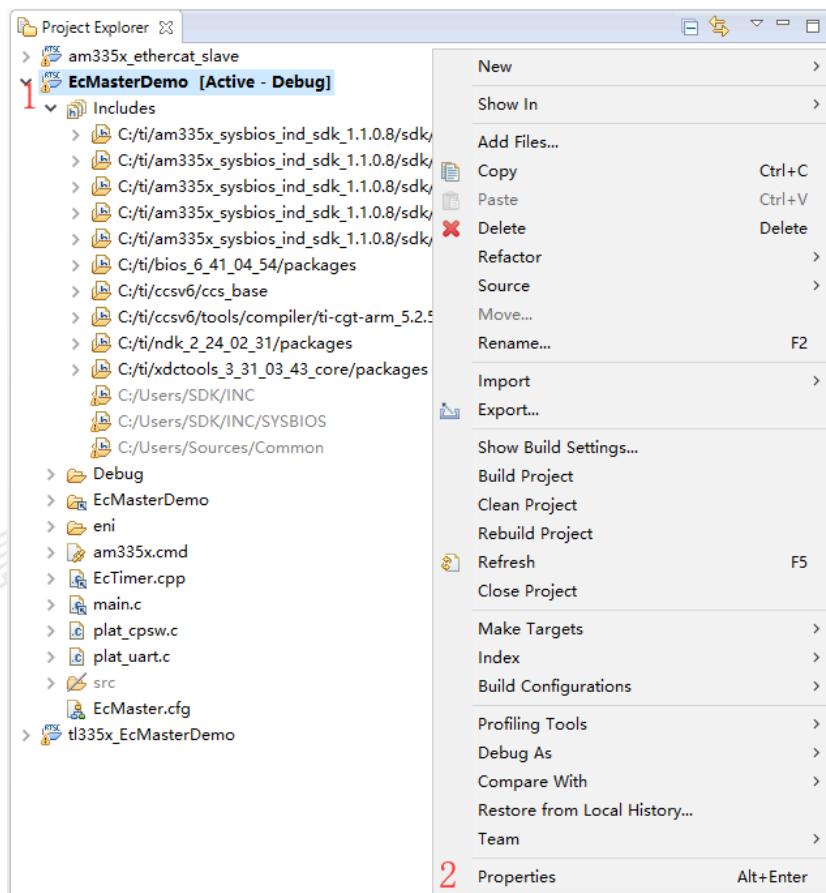


图 53

根据 am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8 安装包和 EcMasterDemo 电机工程实际所在路径，修改 File Search Path 和 Include Options 配置选项对应路径，修改完成后如下图所示：

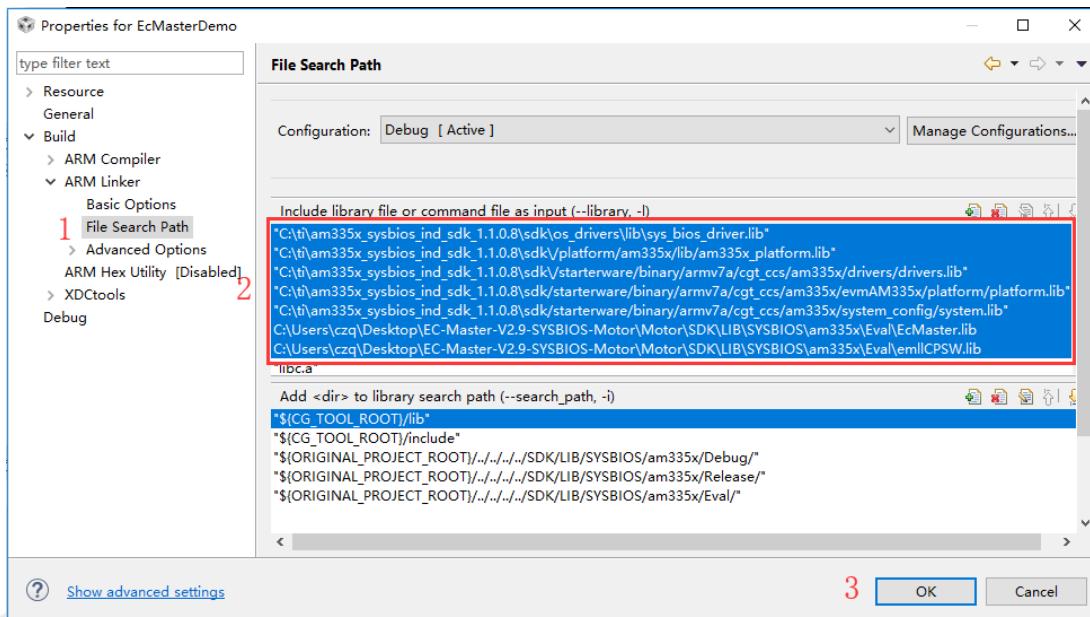


图 54

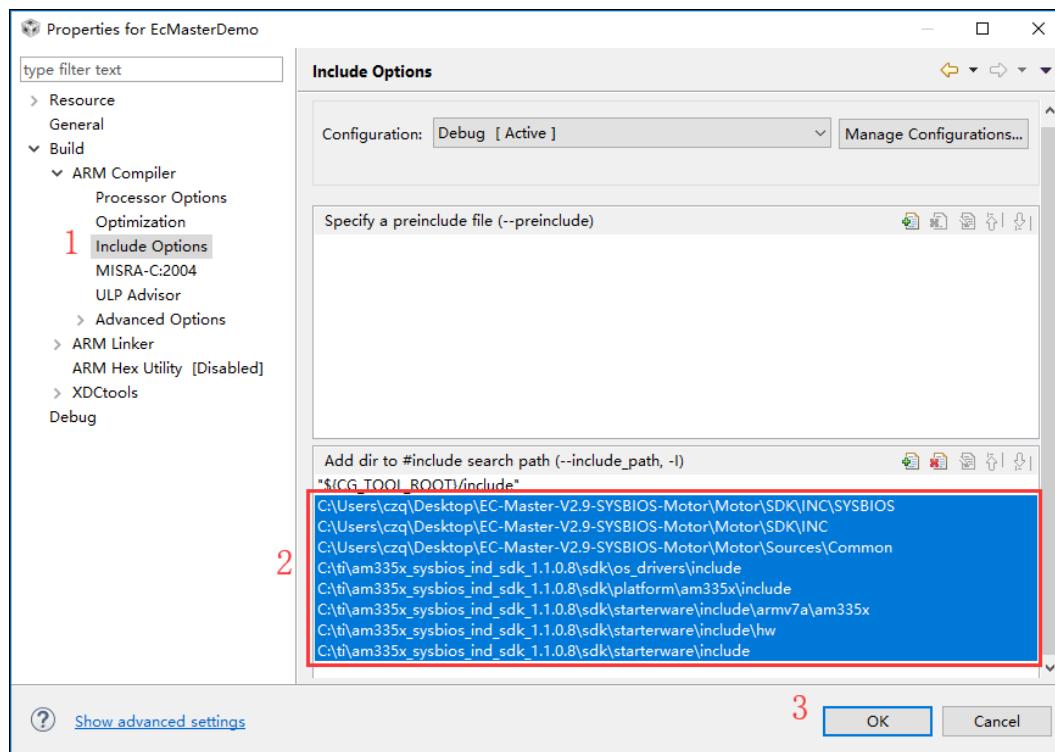


图 55

将 eni_SANYO_motor.xml 配置文件复制到“am335x_sysbios_ind_sdk_1.1.0.8\ sdk\ tools\ bin2header”文件夹。按住 Shift 键，右键单击 bin2header 文件夹，打开 Powershell 窗口（Windows10 系统），若是 Windows7 系统则是打开 cmd 命令行窗口。

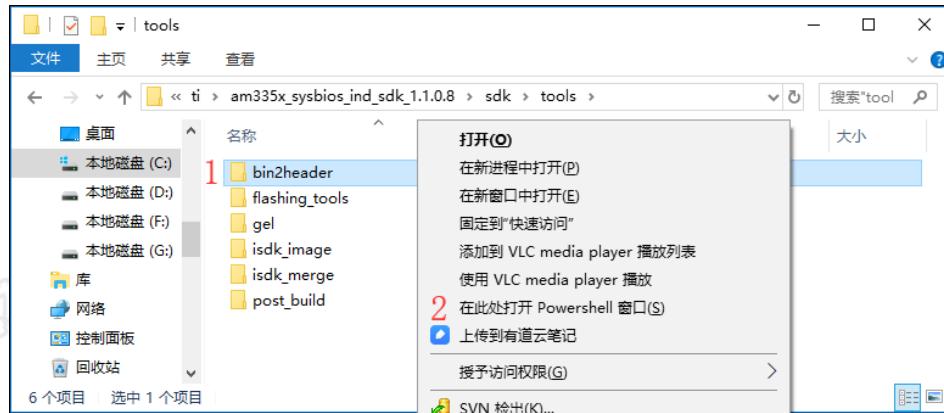


图 56

在打开的 Powershell 窗口中执行如下指令，利用 bin2header 工具将电机伺服驱动器 eni_SANYO_motor.xml 配置文件，在当前目录下转化生成 MasterENI.c 文件：

DOS# ./bin2header.exe eni_SANYO_motor.xml MasterENI.c MasterENI_xml_data

若是在 Windows7 系统则打开 cmd 命令行窗口，执行如下指令：

DOS# bin2header.exe eni_SANYO_motor.xml MasterENI.c MasterENI_xml_data

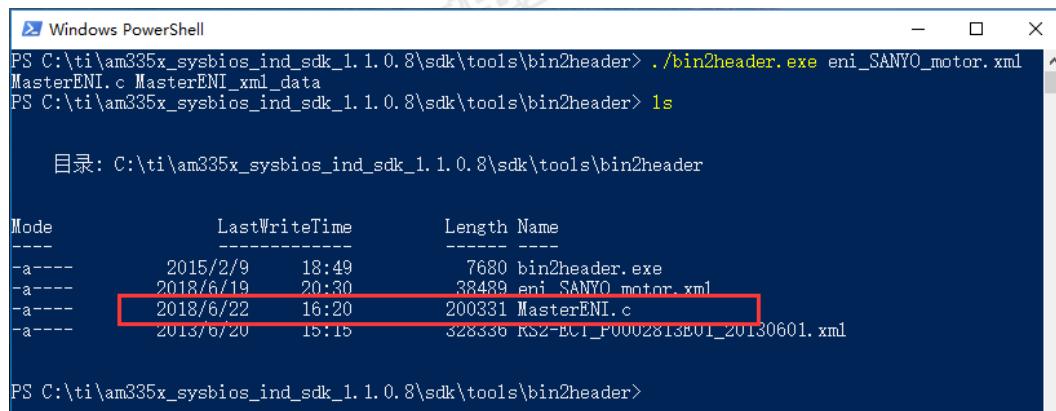


图 57

右键点击 eni_SANYO_motor.xml 配置文件，选择“属性”按钮查看伺服驱动器配置文件大小，此处查看 eni_SANYO_motor.xml 配置文件大小为 38489 字节。

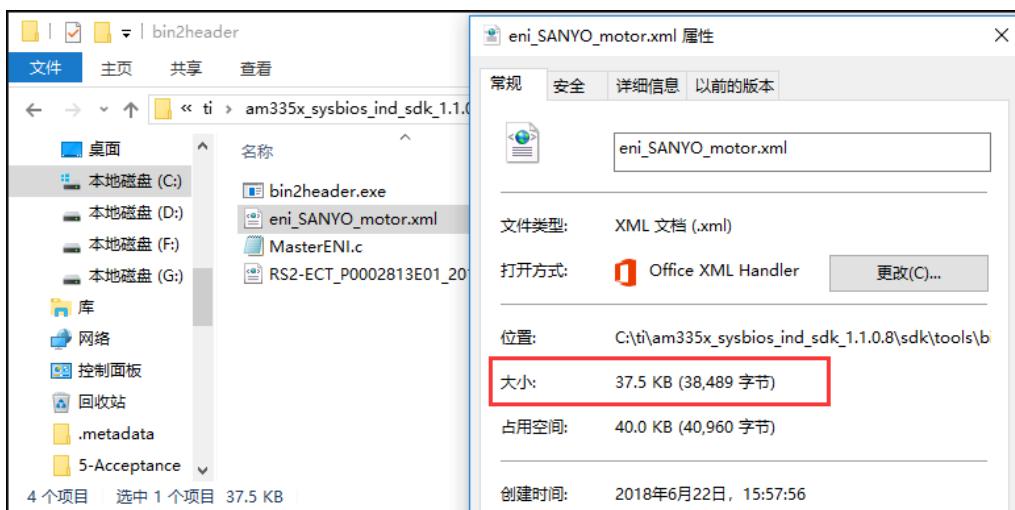


图 58

打开转化生成的 MasterENI.c 文件，按照下图方法将文件中数组名称改为 MasterENI_xml_data，并将文件的字节大小修改成与 eni_SANYO_motor.xml 配置文件大小一致，即 38489 字节。

```

1  /*
2   * tiesc_eeprom.h
3   *
4   *
5   * Copyright (c) 2012 Texas Instruments Incorporated ALL RIGHTS RESERVED
6   *
7   */
8  unsigned int MasterENI_xml_data=38489;
9  unsigned char tiesc_eeprom[] = {
10  0x3c,0x3f,0x78,0x6d,0x6c,0x20,0x76,0x65,0x72,0x73,
11  0x69,0x6f,0x6e,0x3d,0x22,0x31,0x2e,0x30,0x22,0x20,
12  0x65,0x6e,0x63,0x6f,0x64,0x69,0x6e,0x67,0x3d,0x22,
13  0x69,0x73,0x6f,0x2d,0x38,0x38,0x35,0x39,0x2d,0x31,
14  0x22,0x3f,0x3e,0x3c,0x21,0x2d,0x2d,0x20,0x43,0x72,
15  0x65,0x61,0x74,0x65,0x64,0x20,0x77,0x69,0x74,0x68,
16  0x20,0x45,0x6e,0x69,0x45,0x6e,0x67,0x69,0x6e,0x65,
17  0x20,0x2d,0x2d,0x3e,0x3c,0x45,0x74,0x68,0x65,0x72,

```

图 59

将修改后的 MasterENI.c 文件复制到工程源码“EC-Master-V2.9-SYSBIOS-Motor\Motor\Workspace\SYSBIOS\EcMasterDemo\eni”路径下，替换原来的 MasterENI.c 文件。编译电机工程 EcMasterDemo 时，需要把 eni 文件夹下的两个文件编译进去。

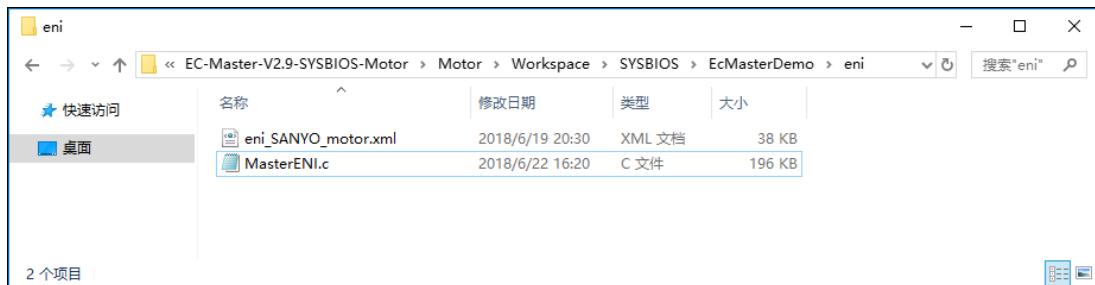


图 60

在 CCS 上修改 DCDemoconfig.h 文件中的 DEMO_PARAMETERS 参数，将-auxclk 后面的值改为 1000，与前面步骤配置 ENI 文件时设置的 Cycle Time 的值保持一致，点击保存。

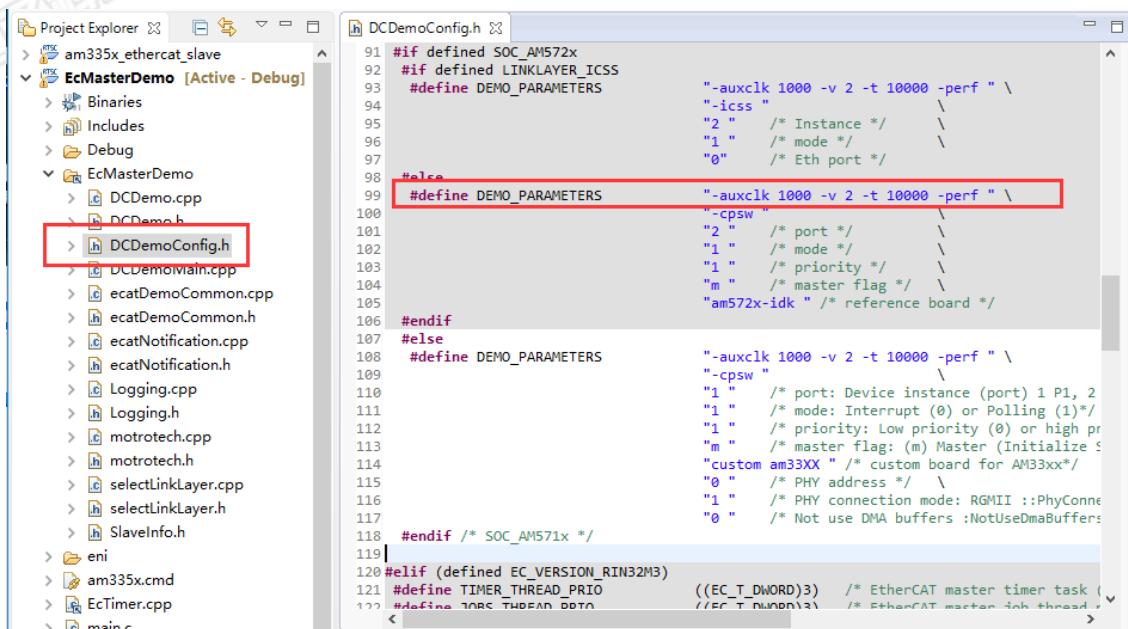


图 61

右键点击工程，选择 Build Project 编译整个工程，编译成功后生成 EcMasterDemo.out 文件，控制台打印信息如下图所示：

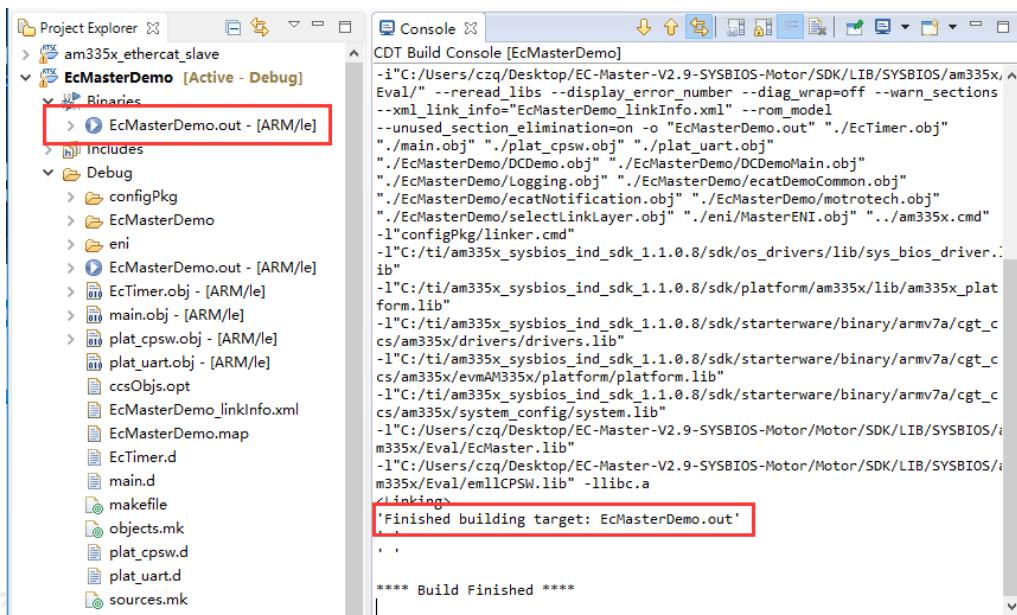


图 62

4.4 加载 EcMasterDemo 工程到开发板并运行

开发板拨码开关拨为 11111（1~5），使用我司配套的仿真器连接开发板到电脑，使用 Micro USB 线连接调试串口到 PC，打开串口终端，开发板上电。参照《基于 AM335x 的裸机开发例程使用手册》文档，通过 CCS 下载 EcMasterDemo.out 文件到开发板，加载完成后控制台打印信息如下：

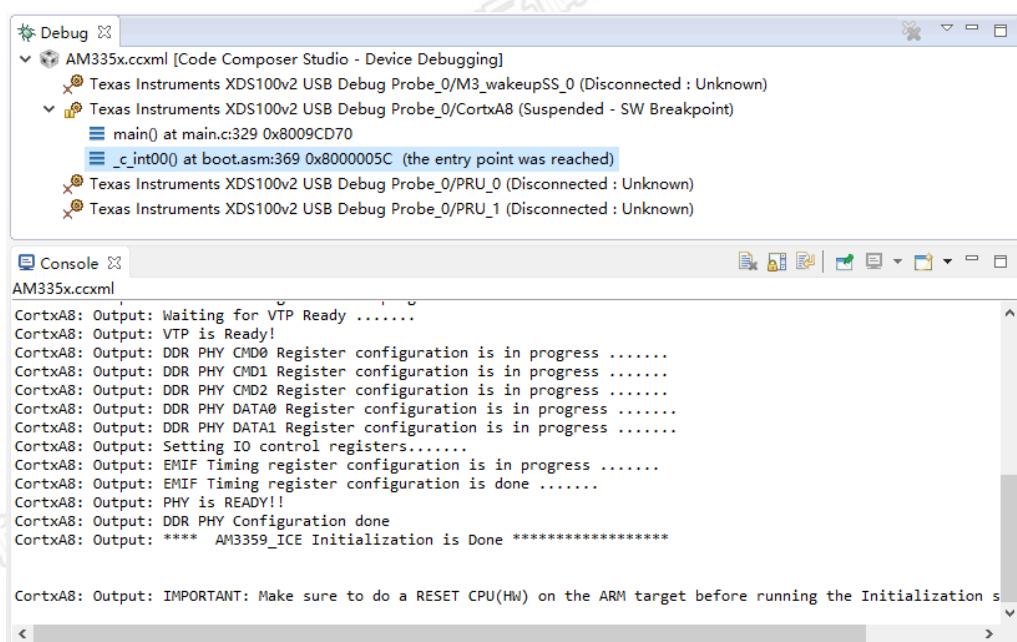


图 63

使用网线连接 AM335x 开发板（主站）RGMII1 网口到 SANYO 伺服驱动器（从站）CNO 网口，跟伺服驱动器供电。在 CCS 上点击 Resume  按钮运行程序，可以观察到伺服电机依次按顺时针、逆时针方向转动后停止，串口终端打印信息如下图所示：

如果伺服电机只能正转，并且抖动厉害，可以尝试修改 cycle time 或者其他和电机转动相关的参数。

```
TI Industrial SDK Version - IASDK 1.1.0.8
Device name      : AM3359
Chip Revision   : AM335X ES1.2 [PG2.1]

SYS/BIOS EcMaster sample application running on ICE V2
Full command line: -auxclk 1000 -v 2 -t 10000 -perf -csw 1 1 1 m custom am33xx 0 1
0

000134 : Run demo now with cycle time 1000 usec
000134 : Using AuxClock
000134 : =====
000134 : Initialize EtherCAT Master
000134 : =====
000134 : EC-Master V2.9.0.06 (Protected) for sysbios copyright acontis technologies
GmbH @ 2016
000135 : CPSW INF: Port 1, Prio 1, Flags [Polling] [Master], Phy 0, PhyInterface 32,
MAC 10:ce:a9:a8:d9:cf

000136 : CPSW INF: CPSW3G found. CPSW INF: HW-Id: 0x0019, RTL: 0, Major: 1, Minor: 0
XC
000137 : CPSW INF: PHY found. Id=0x00221622
000137 : CPSW INF: Restart PHY auto negotiation
001897 : CPSW INF: PHY auto negotiation completed
001923 : unlicensed version, stop sending ethernet frames after 60 minutes!
001961 : Bus scan successful - 1 slaves found
001981 : 1 identical messages skipped
001981 : ****
001981 : Slave ID.....: 0x00000000
001981 : Bus Index.....: 0
001981 : Bus AutoInc Address.: 0x0000
001981 : Bus Station Address.: 0x03e9 (1001)
001981 : Bus Alias Address...: 0x0000 ( 0 )
001981 : Vendor ID.....: 0x000001B9 = Sanyo Denki Co., Ltd. (2nd Design Dept.
Servo System Div.)
001981 : Product Code.....: 0x00000002 = unknown
001981 : Revision.....: 0x00000000 Serial Number: 0
001981 : ESC Type.....: Beckhoff ET1100 (0x11) Revision: 0 Build: 3
001981 : Connection at Port A: yes (to 0x00010000)
001981 : Connection at Port D: no (to 0xFFFFFFFF)
001981 : Connection at Port B: no (to 0xFFFFFFFF)
001981 : Connection at Port C: no (to 0xFFFFFFFF)
001981 : Line Crossed.....: no
001981 : Cfg Station Address.: 0x03e9 (1001)
001981 : PD IN    Byte.Bit offset: 0.0    Size: 272 bits
001981 : PD OUT   Byte.Bit offset: 0.0    Size: 240 bits
002096 : EtherCAT network adapter MAC: 10-CE-A9-A8-D9-CF

002096 : =====
002096 : Start EtherCAT Master
002096 : =====
002100 : Master state changed from <UNKNOWN> to <INIT>
002198 :
    Motrotech:           myprepare_
002198 : 1 identical messages skipped
002198 : Motrotech: (1)my drive have find
002263 : Master state changed from <INIT> to <PREOP>
003152 :
    Motrotech:           mysetup_
003152 : Motrotech: OurVarInfoNum = 9
003152 : Motrotech: My_Slave[0].myControlword = -2128719120
003152 : Motrotech: My_Slave[0].myTargetPosition = -2128719118
003152 : Motrotech: InVarInfoNum = 12
003152 : Motrotech: MySlave[0].myStatusword = -2128719176
003152 : Motrotech: MySlave[0].myActPosition = -2128719172
003152 : Motrotech: MySlave[0].myActVelocity = -2128719168
003152 : Motrotech: MySlave[0].myActTorque = -2128719164
003152 : Motrotech: MySlave[0].myActFollowErr = -2128719162
```

图 64

```

003152 : Motrotech: MySlave[0].myActFollowErr = -2128719162
006141 : DCM in sync Cur=" 17784", Avg=" 360", Max=" 26970"
006310 : Master state changed from <PREOP> to <SAFEOP>
006355 : Master state changed from <SAFEOP> to <OP>
006360 :
006360 : Job times during startup <INIT> to <OP>:
006360 : =====
006360 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 38.1/141.3
006360 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.4/ 17.9
006360 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 10.1/ 74.3
006361 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 13.9/ 59.6
006361 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.1
006361 : PerfMsmt 'myAppworkPd' (avg/max) [usec]: 1.8/ 7.8
006361 : PerfMsmt 'write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 13.3
006361 :
006361 : DCM during startup (<INIT> to <OP>)
006361 : slave[0] To switch on Disabled 0650

006362 : slave[0] To Ready to switch on 0650

006367 : slave[0] To switched on 0631

006371 : slave[0] To operation Enabled 0633

006418 : Slave[0] In operation Enabled 0637

008364 : =====
008364 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 48.0/ 57.4
008364 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.1/ 17.5
008364 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 7.9/ 15.4
008364 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 22.7/ 32.3
008364 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.5
008364 : PerfMsmt 'myAppworkPd' (avg/max) [usec]: 2.0/ 10.9
008364 : PerfMsmt 'write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 6.0
010364 :
010364 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 48.0/ 57.4
010364 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.1/ 17.5
010364 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 7.9/ 16.3
010364 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 22.7/ 32.3
010364 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.5
010364 : PerfMsmt 'myAppworkPd' (avg/max) [usec]: 2.0/ 10.9
010364 : PerfMsmt 'write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 6.2
012364 :
012364 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 48.2/ 57.4
012364 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.1/ 17.5
012364 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 7.9/ 16.3
012364 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 22.6/ 32.3
012364 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.6
012364 : PerfMsmt 'myAppworkPd' (avg/max) [usec]: 2.0/ 10.9
012364 : PerfMsmt 'write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 6.2
014364 :
014364 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 48.2/ 57.4
014364 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.2/ 17.5
014364 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 7.9/ 16.3
014364 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 22.9/ 32.3
014364 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.6
014364 : PerfMsmt 'myAppworkPd' (avg/max) [usec]: 2.0/ 10.9
014364 : PerfMsmt 'write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 6.7
016363 :
016363 : Job times before shutdown
016363 : =====
016363 : shutdown EtherCAT Master
016363 : =====
016363 : slave[0] To switch on Disabled 1237

016373 : Master state changed from <OP> to <INIT>
016387 : =====
016387 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 43.6/ 57.4
016387 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.0/ 17.7

```

图 65

```
016373 : Master state changed from <OP> to <INIT>
016387 : =====
016387 : PerfMsmt 'JOB_ProcessAllRxFrames' (avg/max) [usec]: 43.6/ 57.4
016387 : PerfMsmt 'JOB_SendAllCycFrames' (avg/max) [usec]: 11.0/ 17.7
016387 : PerfMsmt 'JOB_MasterTimer' (avg/max) [usec]: 8.0/ 28.1
016387 : PerfMsmt 'JOB_SendAcycFrames' (avg/max) [usec]: 19.6/ 32.3
016387 : PerfMsmt 'Cycle Time' (avg/max) [usec]: 999.4/1005.6
016387 : PerfMsmt 'myAppWorkPd' (avg/max) [usec]: 2.0/ 10.9
016387 : PerfMsmt 'Write DCM logfile' (avg/max) [usec]: 0.6/ 6.7
016691 : CPSW INF: Disable running RX-DMA
016691 : CPSW INF: RX+TX DMA disabled. Delay 500
016692 : EcMasterDemoDc stop.
```

图 66

更多帮助

销售邮箱: sales@tronlong.com

技术邮箱: support@tronlong.com

创龙总机: 020-8998-6280

技术热线: 020-3893-9734

创龙官网: www.tronlong.com

技术论坛: www.51ele.net

线上商城: <https://tronlong.taobao.com>