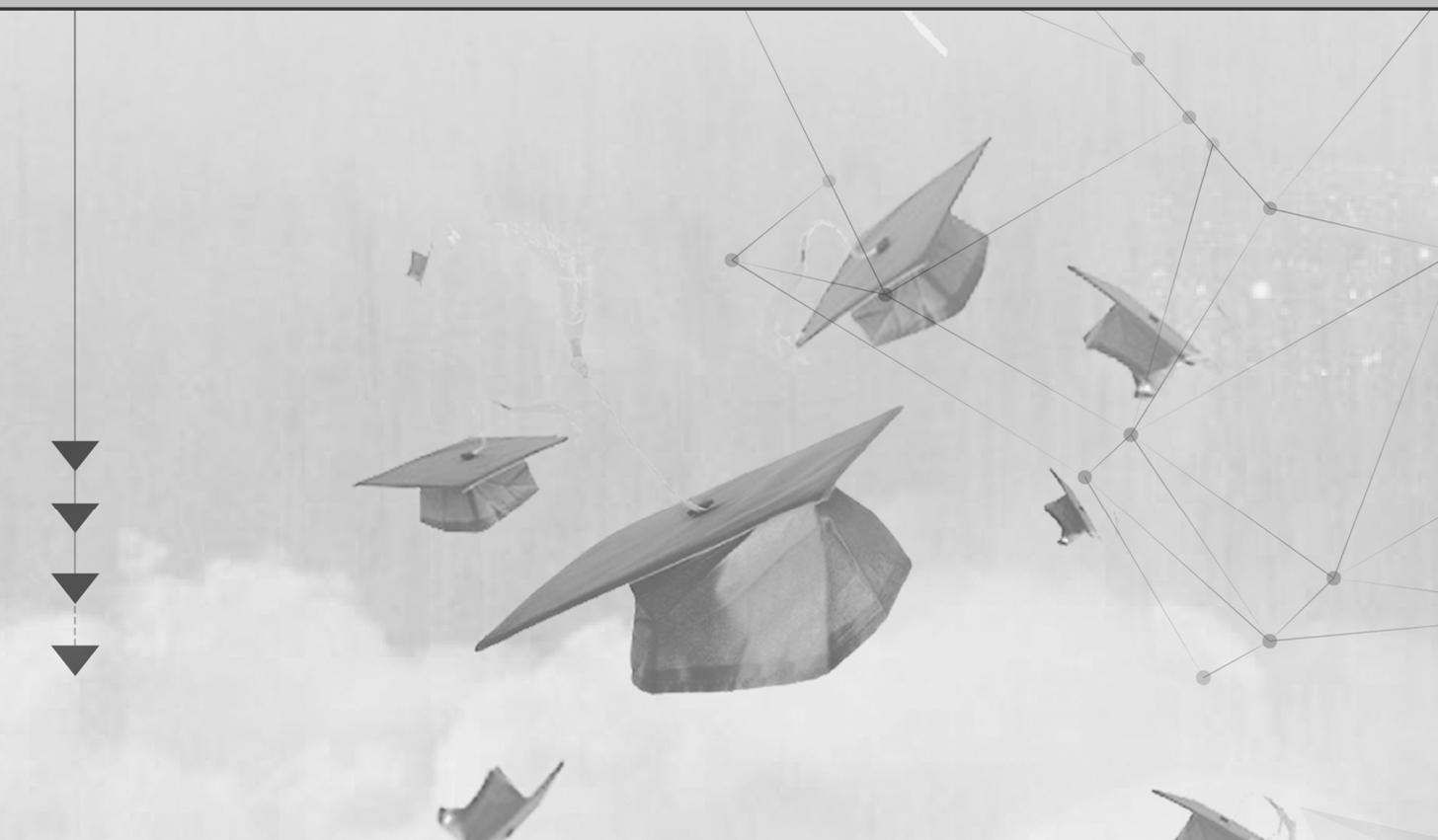


第一章

飞机系统实验部分



实验一 电源系统仿真模拟

一、实验目的

- 深入了解飞机电源的工作原理与故障分析方法。
- 能够使用仿真软件完成电源系统原理性建模并分析不同参数对飞机电源系统性能的影响。

二、实验仪器及器材

飞机虚拟仿真实实践教学平台软件。

三、实验原理

飞机电源系统为飞机上所有的用电设备提供电能，其重要性不言而喻。其大体可分为主电源系统、辅助电源系统、应急电源系统、二次电源系统及相应的保护与监控电路等。飞机电源系统为飞机安全、高效地完成航班任务提供了先决条件，同时保障飞机和地面之间正常的信号传输与交流。因此，提高飞机电源系统的安全性能与稳定性能是提高飞机整体性能工作中尤为关键的一部分。

近几年，民航客机使用较多的一种供电系统是恒速恒频（CSCF）交流电源系统。国内的主流民航客机，如 B737、B747、B707 等的主电源系统都属于恒速恒频交流电源系统，如图 1-1-1 所示。



图 1-1-1 恒速恒频交流电源系统方块图

这种电源系统得以广泛应用是因为其具有以下明显优势。

① 这种电源系统中使用的设备和配电设施的质量相对其他系统更轻，所以就系统整体而言其效率更高，质量功率比较小。同时，这种电源系统结构相对简单，维护相对方便；相对比较完整与先进，产生的电能也更加稳定可靠；更能简化用电设备的设计与维护。随着飞机上用电设备的日益多元化、复杂化，这种电源系统更有助于民用航空器的统一标准化。

② 恒速传动装置（CSD）采用差动式结构。它的安装位置处在发动机和发电机二者之间，当应对不同的飞行环境时，发电机的转速会发生改变。此时为了保证发电机的转速能够稳定在 6 000 r/min，就需要采用恒速传动装置，恒速传动装置还可以使电频率稳定在

400 Hz。频率 f 与转速 n 之间成正比关系，同时与磁极对数有关。

B737 的飞机电源系统由交流部分和直流部分组成。左右两台主交流发电机（IDG1、IDG2）为整个交流电源系统提供电能，是飞机上主要的电能来源，因此也称为飞机的主电源。主电源系统为飞机上 3 台 TRU（变压整流器）提供电能，通过 TRU 为直流电源系统产生稳定的 28 V 直流电，通过机身的结构框架与供电系统构成回路。

飞机交流电源系统由两台主交流发电机（IDG1、IDG2）、一台 APU 发动机、一台 SI（静变流机）和外部电源构成。其中，主交流发电机采用的是两台 976J598-1 型气冷自激式无刷三相交流发电机，安装位置在各自主交流发电机的下部，分别由各自的主交流发电机通过恒速传动装置带动，使其产生的转速在 6 000 r/min 左右；主交流发电机的额定功率为 90 kW，输出相电压为 115 V、线电压为 200 V、频率为 400 Hz。APU 不需要恒速传动装置传动，因为 APU 自身就是恒速发动机，可以驱动备用交流发电机。备用交流发电机和主交流发电机在结构与类别上大同小异，可以通用。APU 的位置通常在机身的后端。

应急单相交流电源为一台 19B168-1-B 型 SI，位于电子设备舱 E3 架上。在飞机飞行时，如果正常电源全部失效，备用电源系统将产生持续至少 60 分钟以上的直流电与交流电，以保证飞行安全。SI 的额定功率为 500 kW，输入电压为直流 24 V，转换输出的交流电压为单相 115 V，频率为 400 Hz。

如图 1-1-2 所示，B737NG 外部交流电源接口位于机身前部外侧，可以国际标准外电源交流插座向飞机网络供电。

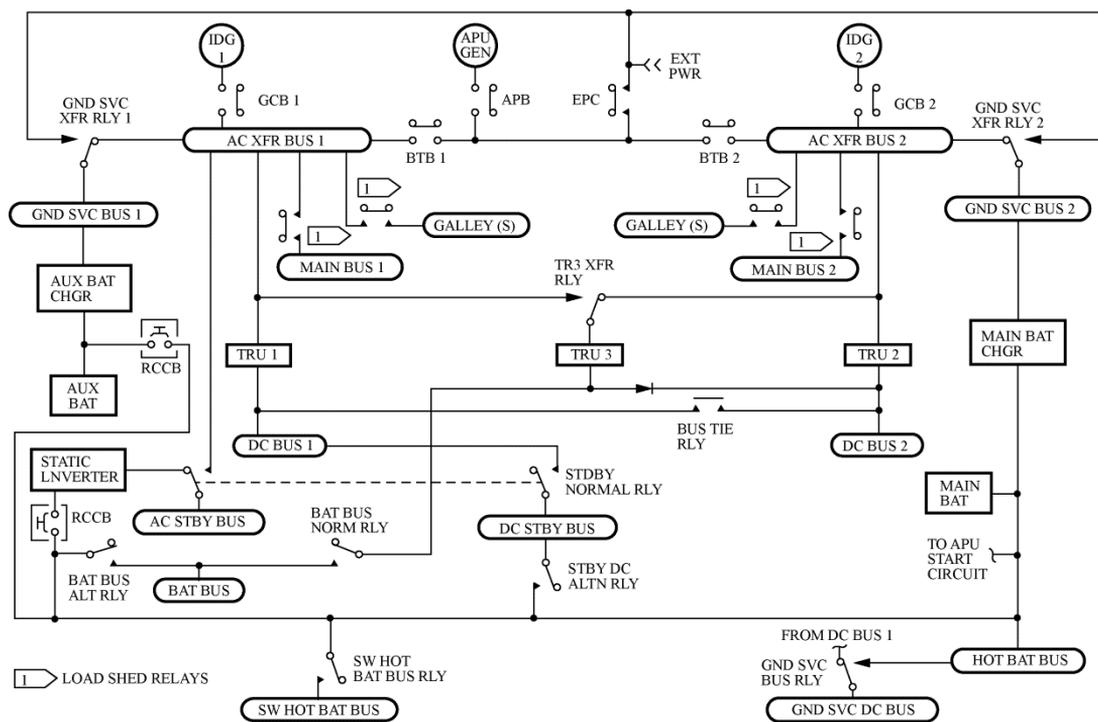


图 1-1-2 B737NG 电源配电图

B737-800 飞机交直流电源控制位于 P5-13 面板。该面板由仪表显示屏、BAT DISCHARGE (电瓶充电器) 灯、TR UNIT (变压整流器组件) 灯、ELEC (电源) 灯、直流电表显示源选择电门、电瓶电门、MAINT (维修) 电门及交流电表显示源选择电门组成, 如图 1-1-3 所示。

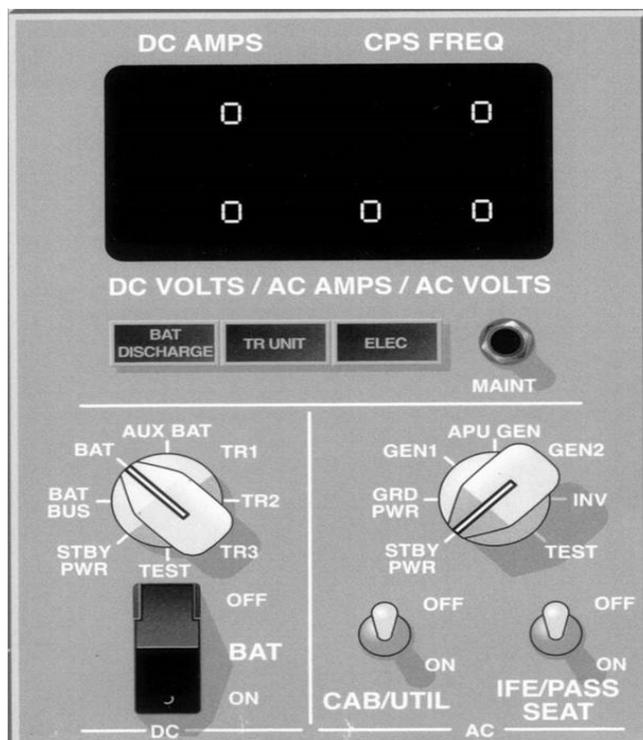


图 1-1-3 P5-13 面板

① BAT DISCHARGE 灯点亮, 表示电瓶在放电工作。当需要用电瓶的直流电来启动 APU 时, 该灯点亮; 当 APU 启动好后, 电瓶充电器将给蓄电池充电, 该灯灭。

② TR UNIT 灯点亮的条件: 地面任一个 TRU 失效; TRU1 空中失效; TRU2 和 TRU3 空中失效。

③ ELEC 灯。飞机在空中, 该灯不会点亮, 只会存储故障信息; 该灯点亮表示 DC 系统和备用电源系统有故障。DC、AC 选择器都放在 TEST (测试) 位。

④ MAINT 电门。用于测试及清除已排除的故障。

⑤ 直流电表显示源选择电门。

- STBY PWR (备用电源)。直流电表显示备用直流汇流条的电流、电压。
- BAT BUS (电瓶汇流条)。直流电表显示电瓶汇流条的电流、电压。
- BAT (电瓶)。直流电表显示电瓶的电流、电压。
- APU BAT (APU 电瓶)。直流电表显示 APU 电瓶的电流、电压。
- TR1/2/3。直流电表显示 1/2/3 号变压整流器的电流、电压。
- TEST。测试位。



⑥ 交流电表显示源选择电门。

- STBY PWR。交流电表显示备用交流汇流条的频率、电压。
- GRD PWR（地面电源）。交流电表显示地面交流电源的频率、电压。
- GEN1。交流电表显示左发电机输出电源的频率、电压。
- APU GEN（APU 发电机）。交流电表显示 APU 发电机输出电源的频率、电压。
- GEN2。交流电表显示右发电机输出电源的频率、电压。
- INV（变流机）。交流电表显示 SI 输出电源的频率、电压。
- TEST。测试位。

P5-4 面板如图 1-1-4 所示。该面板由左和右发电机供电控制电门、APU 发电机控制电门(左和右)、汇流条转换电门、地面电源控制电门、左和右发电机未向汇流条供电提醒灯、左和右发电机汇流条无电警告灯、左和右转换汇流条无电警告灯、地面电源可用提醒灯及 APU 电源未被使用提醒灯组成。

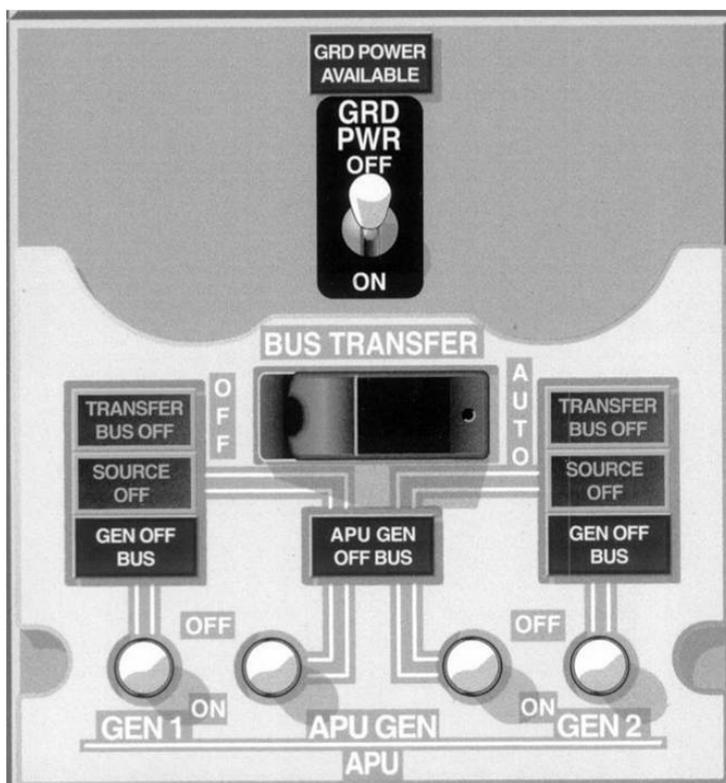


图 1-1-4 P5-4 面板

四、实验内容

电源系统 Simulink 模型搭建的步骤如下。

启动飞机虚拟仿真实实践教学平台软件，登录实验管理系统。进入电源系统模型，Simulink 搭建的模型如图 1-1-5 所示。

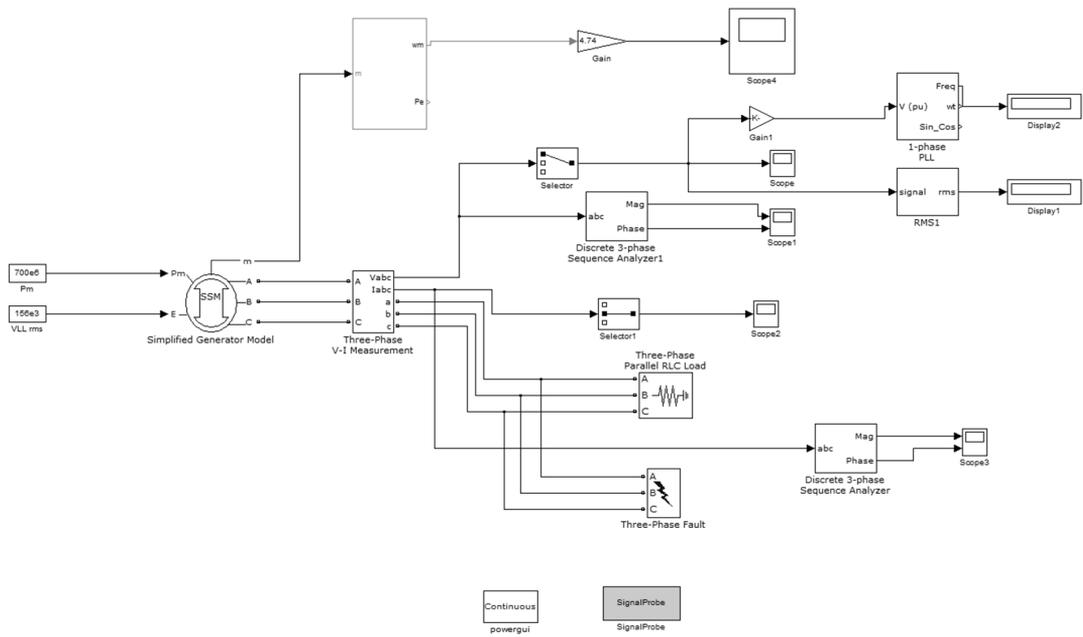


图 1-1-5 电源系统 Simulink 模型

从电机（machines）元件库中选择简化同步电机元件，并根据手册进行如图 1-1-6 所示的发电机参数设置。

连接类型

额定值：额定功率、线电压、频率

Block Parameters: Simplified Generator Model

Simplified Synchronous Machine (mask) (link)

Implements a 3-phase simplified synchronous machine. Machine is modelled as an internal voltage behind a R-L impedance. Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.

Use this block if you want to specify SI parameters.

Parameters

Connection type: 3-wire Y

Mechanical input: Mechanical power Pm

Nominal power, line-to-line voltage, and frequency [Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz)]:
[40000 115 400]

Inertia, damping factor and pairs of poles [J(kg.m²) Kd(pu_T/pu_w) p()]:
[56290 0.3 2]

Internal impedance [R(ohm) L(H)]:
[1.9845 263.15e-3]

Initial conditions [dw(rad) th(deg) ia, ib, ic(A) pha, phb, phc(deg)]:
[0.5, 0 0, 0, 0, 0]

Sample time (-1 for inherited)
-1

OK Cancel Help Apply

机械特性：惯性因数、阻尼系数和极对数

内部电阻：每相的电阻和电抗值

初始状态：初始速率的偏差、转角、线电流幅值和相角

图 1-1-6 发电机参数设置

从测量元件库中选择三相交流电压-电流测量元件（Three-Phase V-I Measurement），进行如图 1-1-7 所示的设置。

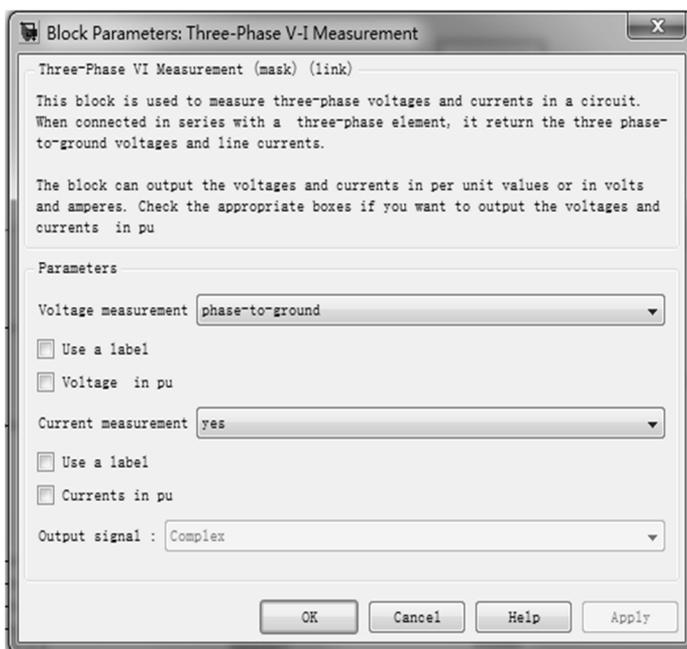


图 1-1-7 三相交流电压-电流测量元件参数设置

从线路元件库中选择三相电路短路故障发生器(Three-Phase Fault),参数设置如图 1-1-8 所示。其中,转换状态为[1 0],转换时间为[0.2 0.6],即 0.2 s 发生故障,0.6 s 故障解除。



图 1-1-8 三相电路短路故障发生器参数设置

(一) 基于 Simulink 的模型仿真及故障电压波形

根据模型及相应的仿真参数进行仿真。激活仿真按钮查看仿真的波形。

通过 Selector (选择器) 选择 A 相节点, 得到 A 相电压仿真波形, 如图 1-1-9 所示。图中纵轴为电压 (V), 横轴为时间 (s)。可以看出, 当 0.2 s 短路故障发生时, A 点相电压突然变为 0; 0.6 s 故障解除后, 电压恢复正常, 维持在 115 V 左右呈正弦波动, 频率为 400 Hz。同理, 可以得到 B 相、C 相电压仿真波形 (见图 1-1-10 和图 1-1-11), 以及三相电压对比仿真波形图 (见图 1-1-12)。

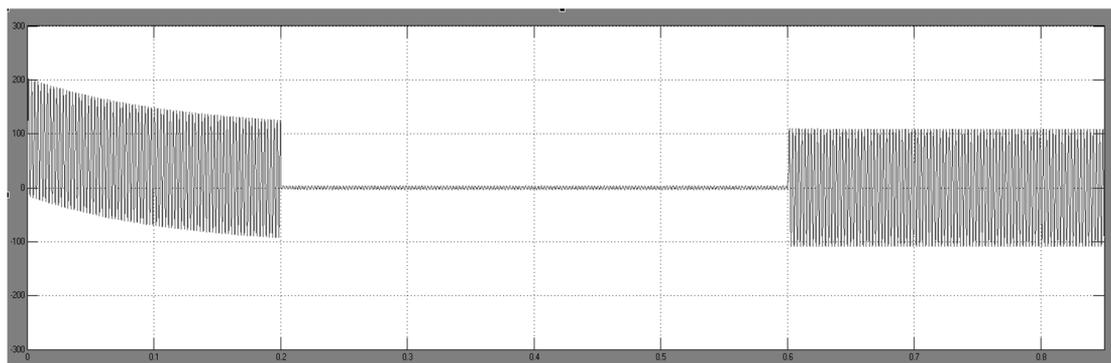


图 1-1-9 A 相电压仿真波形

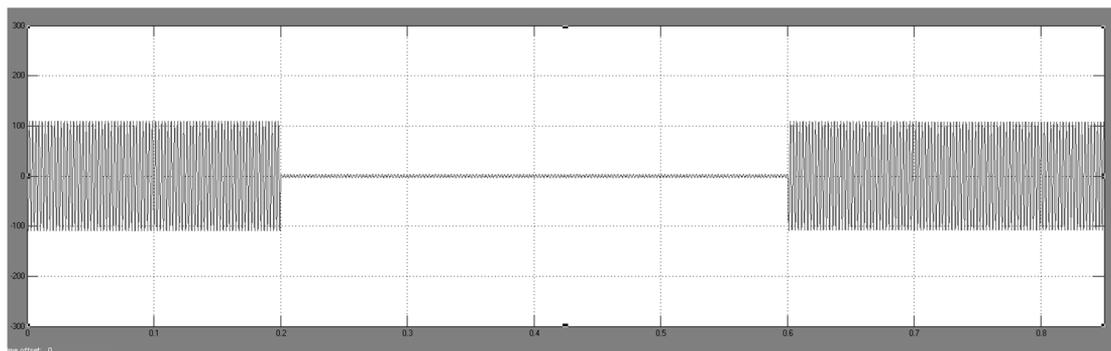


图 1-1-10 B 相电压仿真波形

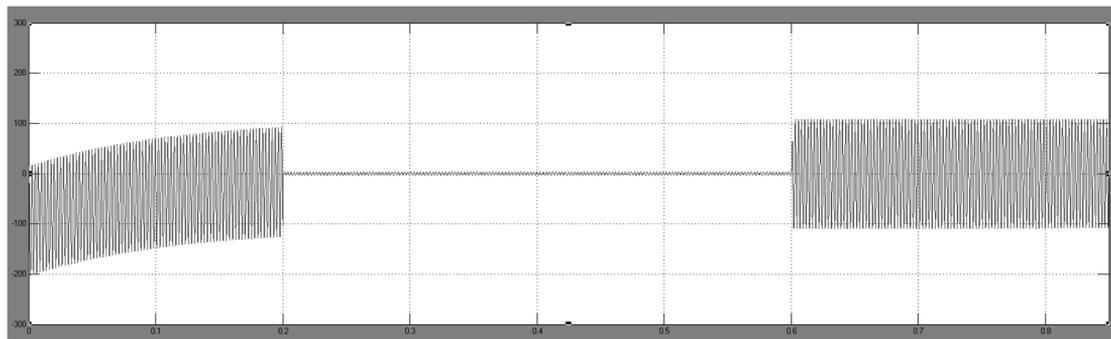


图 1-1-11 C 相电压仿真波形

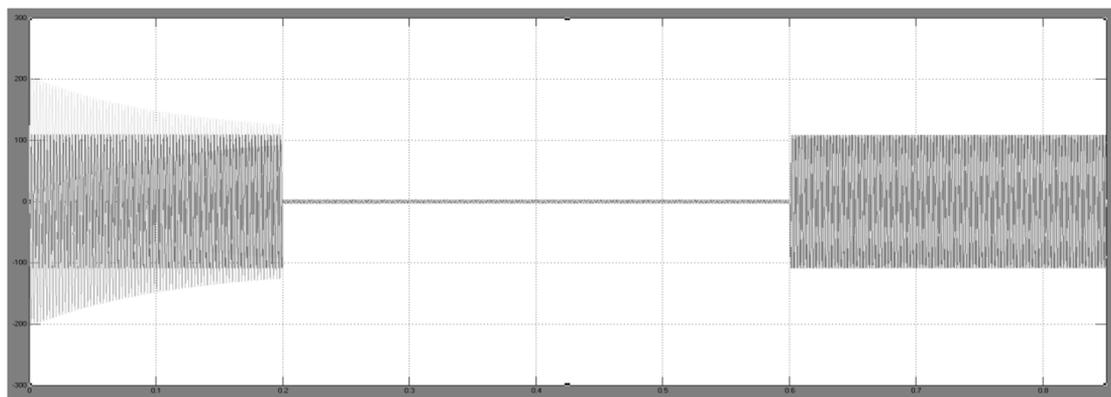


图 1-1-12 三相电压对比仿真波形

(二) 频率及发电机转速的实时监控

通过模型中的 1-phase PLL (单相锁相环) 控件, 可以输出相间频率, 然后通过 Display (显示) 控件便可实时监控频率变化。频率监控控件如图 1-1-13 所示。

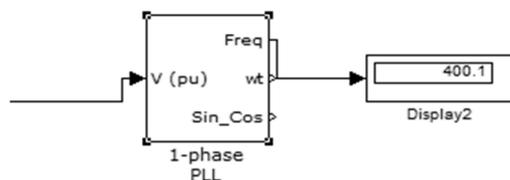


图 1-1-13 频率监控控件

发电机转速的监控图像如图 1-1-14 所示。

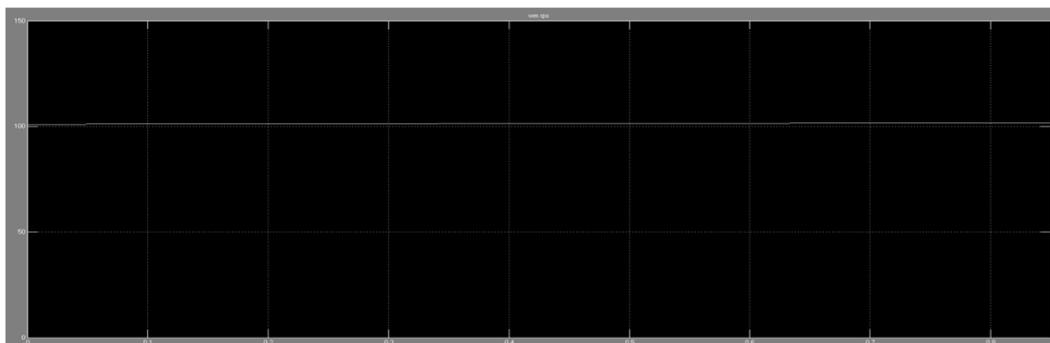


图 1-1-14 发电机转速监控图像

可见发电机的转速始终维持在既定值 100 r/s 左右, 即 6 000 r/min。该仿真充分模拟了 B737 恒速传动装置恒速恒频的发电模式。

(三) 电源指示系统的主显示界面设计

LabVIEW 的前面板主要功能是选择控件, 包括数值输入控件、文本输入控件、按钮与

开关、数值显示控件、布尔指示灯、文本显示控件、图形显示控件等。用户可以通过各种控件搭建自己理想的前面板，实现相应的功能。

在 LabVIEW 中搭建的电源指示系统的主显示界面如图 1-1-15 所示。该面板完全模拟了 B737-800 的 P5-13 面板、P5-4 面板。在该模型模拟中，P5-13 面板可以显示交流发电部分生成的交流电压及频率，并可以根据仿真进程实时监控，用户可以直观地通过该面板看到电压和频率的实时变化；中间的 P5-4 面板可以在模拟故障发生时，通过 SOURCE OFF 指示灯亮起模拟真实飞行过程中的警告指示；右边的两块显示屏为电压相图及转速图像，可以直观地看出相应参数的变化过程。

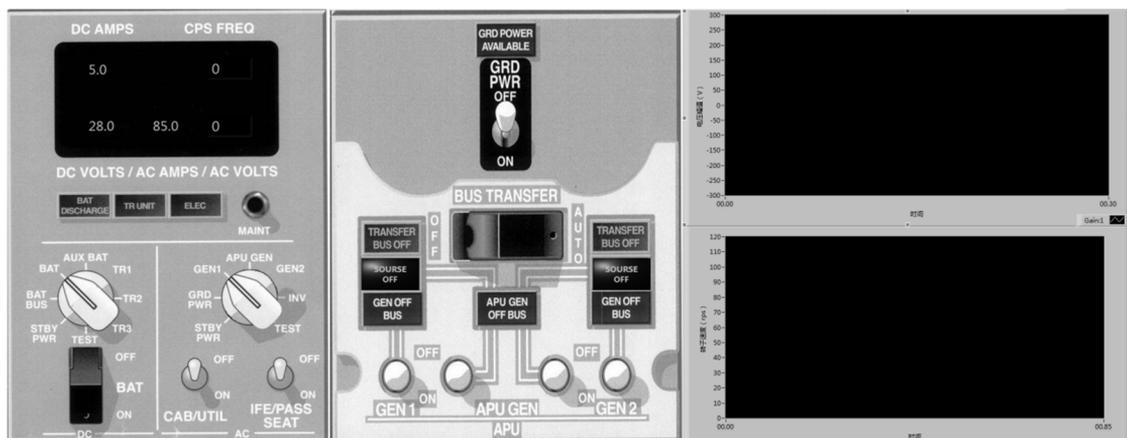


图 1-1-15 电源指示系统的主显示界面

(四) 程序框图中的逻辑与运算

LabVIEW 的程序框图在设计的过程中自由度很高。在编程过程中，可以采用各种函数进行复合编程，建模时将所需的函数按照逻辑关系进行组合，最终生成可以运行的程序，即对电源面板进行实时监控。

在前面板显示控件的选择中，常用的选择控件，如数值显示控件、图表波形显示控件都为面板设计提供了很大的方便。同时，可以通过自定义插入图片作为前面板的底图，增加面板设计的美观性与真实性。程序部分则多是通过函数的组合，如布尔函数、雷达图函数、条件函数等函数来实现的。其中，条件函数结构图如图 1-1-16 所示。

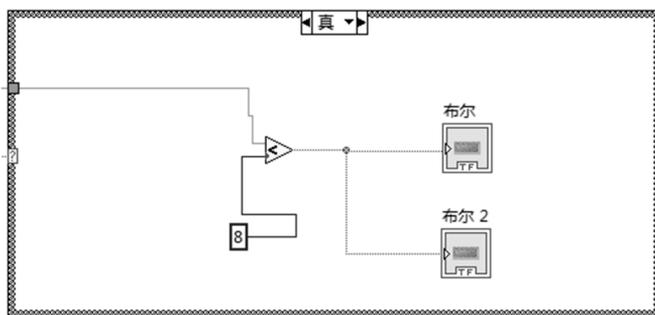


图 1-1-16 条件函数结构图



基于 Simulink 中建立的发电机模型, LabVIEW 可以将其转换为程序面板可以显示的程序框图, 并可以在 LabVIEW 中基于此模型进行与前面板的连接, 构建相应的函数, 实现前面板的对应功能。图 1-1-17 所示是发电机发电部分模型。

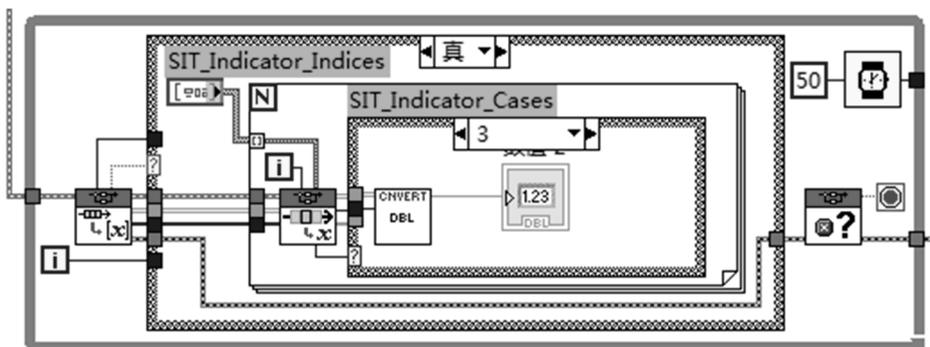


图 1-1-17 发电机发电部分模型

基于 Simulink 产生的程序框图通常都是无错误、可以直接运行的, 但要与前面板显示控件相连接, 即要对程序进行相应的改写, 保证数据的输入类型与输出类型相一致。在设计电压监控面板时, 除了插入了真实飞机显示面板的底图之外, 还采用了大量的数据显示控件, 目的是详细地显示对应的电压、频率值。值得注意的一点是, 在前面板插入数值显示控件时, 要设置好数据类型的精度及控件的透明度, 以便得到最佳的显示效果, 更贴近真实地模拟飞机真实飞行的过程。

在设计警告信息显示部分程序框图时, 考虑到面板上的警告灯要起到监控警告的作用, 所以采用了布尔函数、条件结构来控制, 利用逻辑原理来判断信息显示条件, 如图 1-1-18 所示。

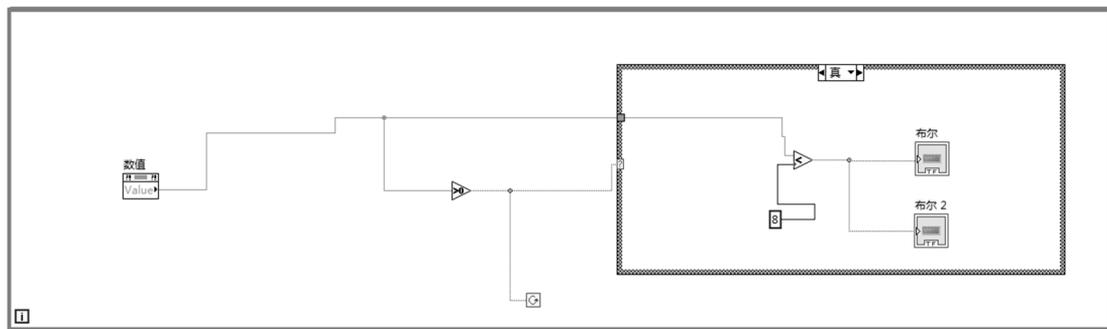


图 1-1-18 警告信息显示部分程序框图

(五) 通过 SIT 实现数据交换

NI LabVIEW SIT (仿真接口工具包) 为 LabVIEW 调用 Matlab、Simulink 提供了很大的方便, 用户完全可以通过 LabVIEW 丰富的界面与 Simulink 进行通信, 同时可以利用 LabVIEW 程序控件连接 Simulink, 实现动态系统建模与仿真。当然, 也可以用其他方法, 如 DDE (动态数据交换) 技术、DLL (动态链接库) 技术。本次建模和仿真采用 SIT 技术。

SIT 是为了实现在 LabVIEW 中调用 Matlab、Simulink 而研发出来的接口工具。Simulink 是一种图形化、模块化的仿真工具，在 Matlab 的运行环境中非常便捷，既可以充分利用 Matlab 强大的计算功能，又可以使模型可视化。SIT 与 Simulink 高度集成，可以利用 Matlab 大量的工具包进行算法的研发和仿真。

SIT 中包含以下几个组件。

① Model（模块）。Model 是一种形式仿真结构图。这种仿真结构图可以是图形、源代码或编译过的结构，包括数据的输入/输出接口、控制参数和可见信号。

② Host VI（主 VI）。Host VI 包括前面板可视化图形和后面板程序框图，可通过前面板的相应组件调节模型参数。

③ SIT Server（SIT 服务器）。这是使用 TCP/IP 在 Host VI 和模型之间传输数据的服务器。必须在运行仿真之前启动 SIT Server，启动时自动运行 Matlab 的应用软件并仿真。默认情况下，SIT Server 在端口 6011 上运行。

④ Host Computer（主计算机）。这是运行 Windows 操作系统的计算机。

⑤ Execution Host（执行主机）。这是运行 Matlab 软件、SIT Server 和仿真的计算机，它可以是主计算机或与主计算机在同一个 TCP/IP 网络的任何一台 Windows 计算机。

成功运行 SIT 之后，在 LabVIEW 中就可以轻松读取 Matlab 模型。

成功实现数据交换需要以下几个步骤。

步骤 1 LabVIEW SIT 设置。设置方法如下。

先设置 Model and Host（模块和主机），如图 1-1-19 所示。由于 Matlab 的默认工作端口为 6011，所以设置端口号 6011，然后 Simulation IP Address（仿真 IP 地址）选择 localhost（本地主机），Current Model（当前模块）选择做好的 Simulink 模块。

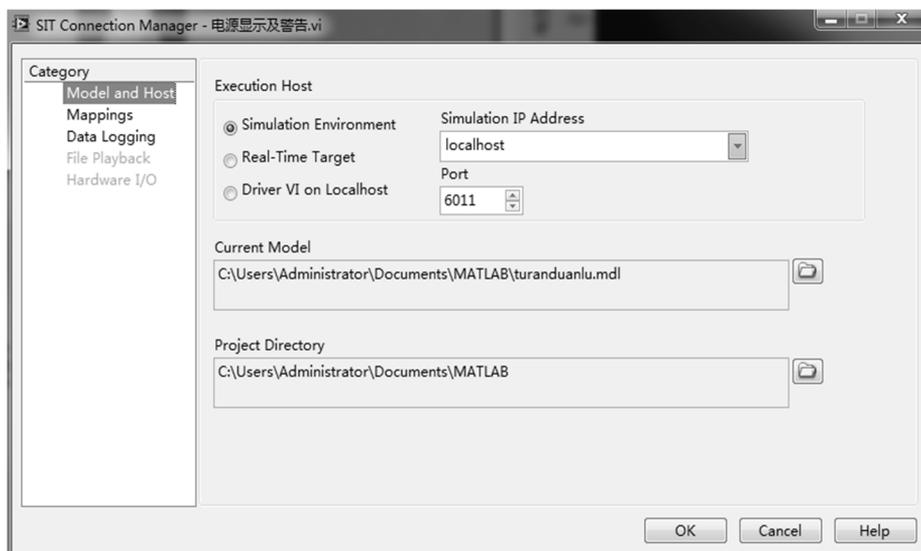


图 1-1-19 Model and Host 设置

Mappings（地图）设置如图 1-1-20 所示。双击需要设置的控件，打开如图 1-1-21 所示的界面，选择数据接入控件对应的信号接口。

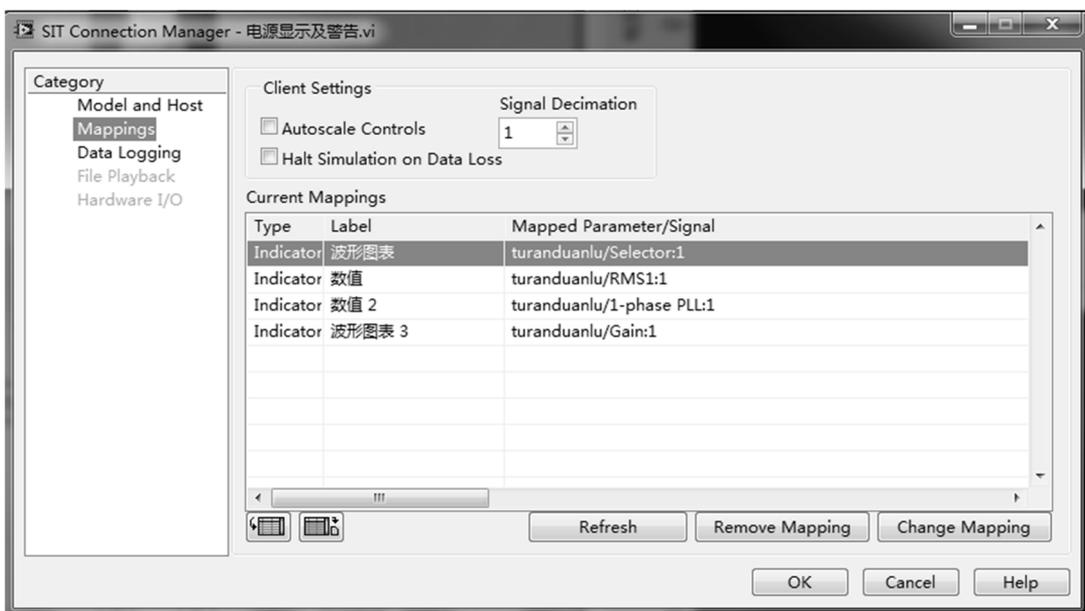


图 1-1-20 Mappings 设置

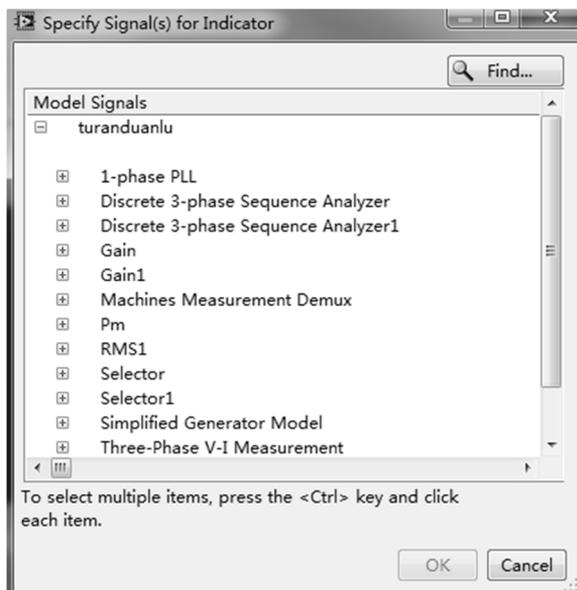


图 1-1-21 信号接口设置

步骤 2 在 Simulink 模型中打开 Configuration Parameters (构型参数), 设置开始时间为 0, 停止时间为 0.85, 选择 Type (类型) 为 Fixed-step (固定步长), 设置步长为 auto (自动), 如图 1-1-22 所示。

通过 SIT 完成通信之后, 就可以利用 Simulink 中构建的模型在 LabVIEW 中实现计算和读取了。

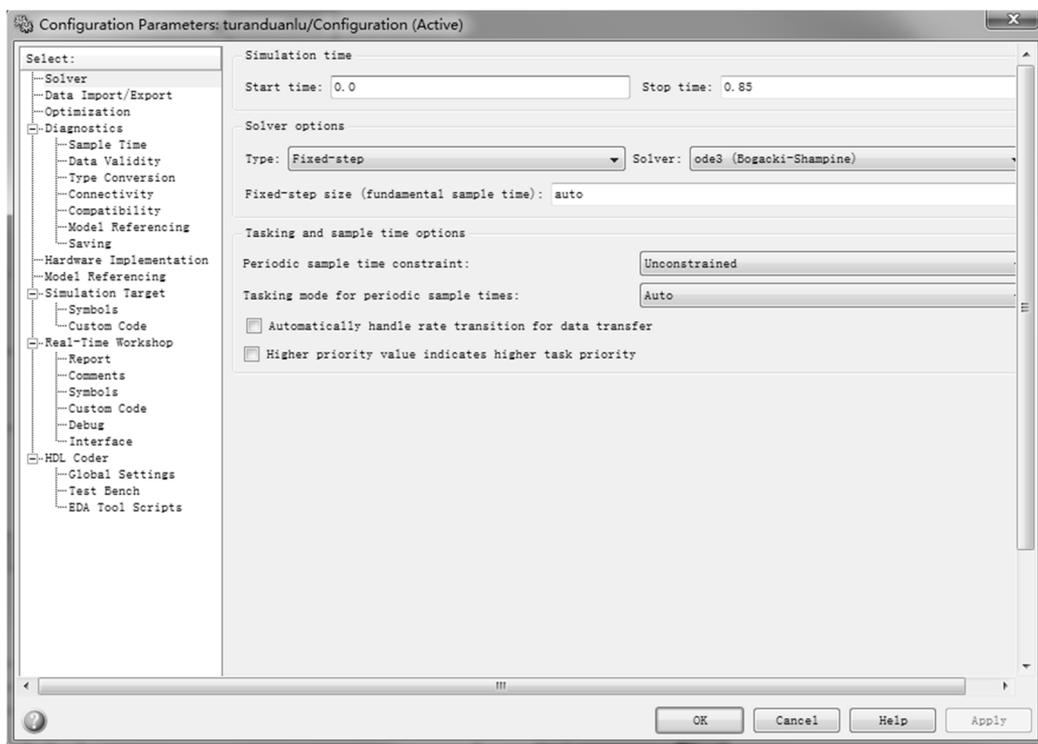


图 1-1-22 构型参数设置

(六) Matlab、Simulink 与 LabVIEW 实现的功能

基于 Matlab、Simulink 和 LabVIEW 的用户界面设计成功完成了模拟电源系统指示信息的任务。按上述方法建立完 SIT 后，打开 Matlab，会提示 SIT Server started (SIT 服务器启动)。载入建好的 Simulink 模型，再打开建好的 VI 文件，即可模拟 B737-800 电源指示系统的主显示界面。前面板与指示信息如表 1-1-1 所示。这时 LabVIEW 可以通过 SIT 调用 Simulink 模型。

表 1-1-1 前面板与指示信息

前面板	指示信息
P5-13 面板	实时显示发电频率及电压
P5-4 面板	SOURCE OFF 灯亮/暗
电压相图显示面板	实时显示电压相图
转速显示面板	实时显示转速

① 单击 LabVIEW 前面板的运行按钮，程序开始运行。这时可以通过 P5-13 面板观察实时交流电压、频率的变化，如图 1-1-23 所示。

② 中间的 P5-4 面板中的 SOURCE OFF 灯在故障发生时亮起，以起到警告作用，如图 1-1-24 所示。

③ 右侧两块面板可以分别实时显示相电压波形和转速曲线，直观地显示故障发生和故障解除时的波形变化，如图 1-1-25 和图 1-1-26 所示。

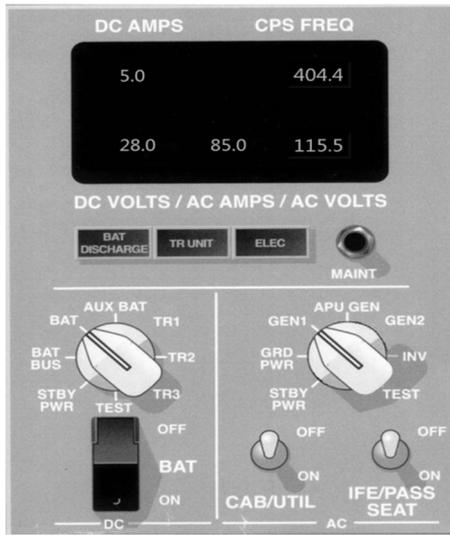


图 1-1-23 P5-13 面板交流电压和频率变化显示

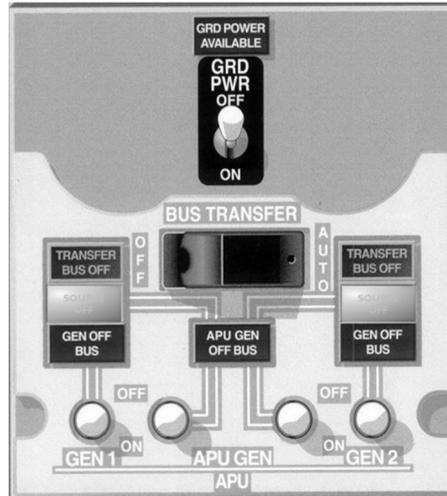


图 1-1-24 P5-4 面板警告灯点亮

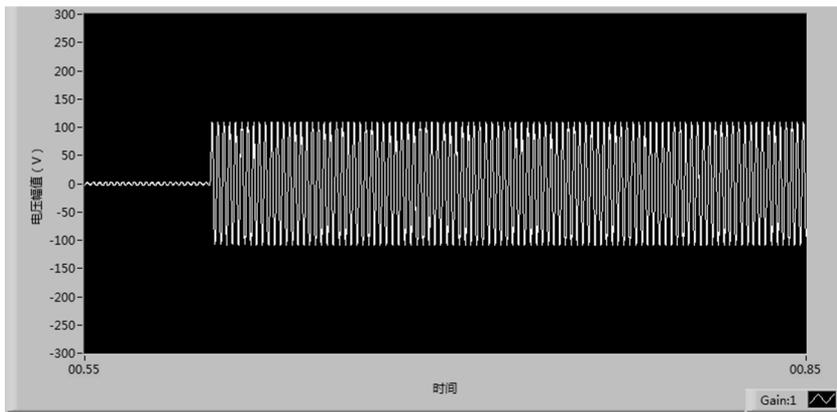


图 1-1-25 相电压波形实时显示

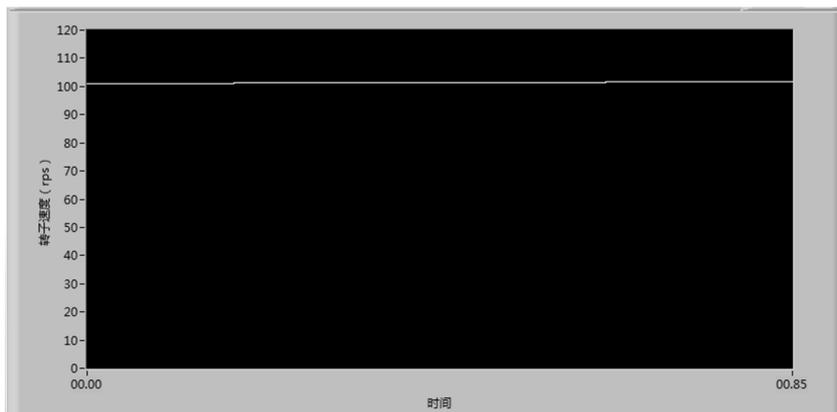


图 1-1-26 转速曲线实时显示

可以看出，在整个模拟的过程中，程序开始运行时，电压处于相对稳定的状态，数值与波形显示一致。当 0.2 s 故障发生时，电压波形趋近于 0，此时故障灯同时亮起，持续至 0.6 s 故障解除，故障灯熄灭。此后，电压恢复至正常的 115 V 左右。由于恒速传动装置的存在，发电机转速基本不变，稳定在 100 r/s，直至模拟结束。通过模拟故障的发生与解除，可以更加直观、更加高效地监测飞机电源系统交流发电的情况，对飞机虚拟仿真教学平台软件起到推进与完善的作用。

五、实验步骤

电源系统工作流程如图 1-1-27 所示。

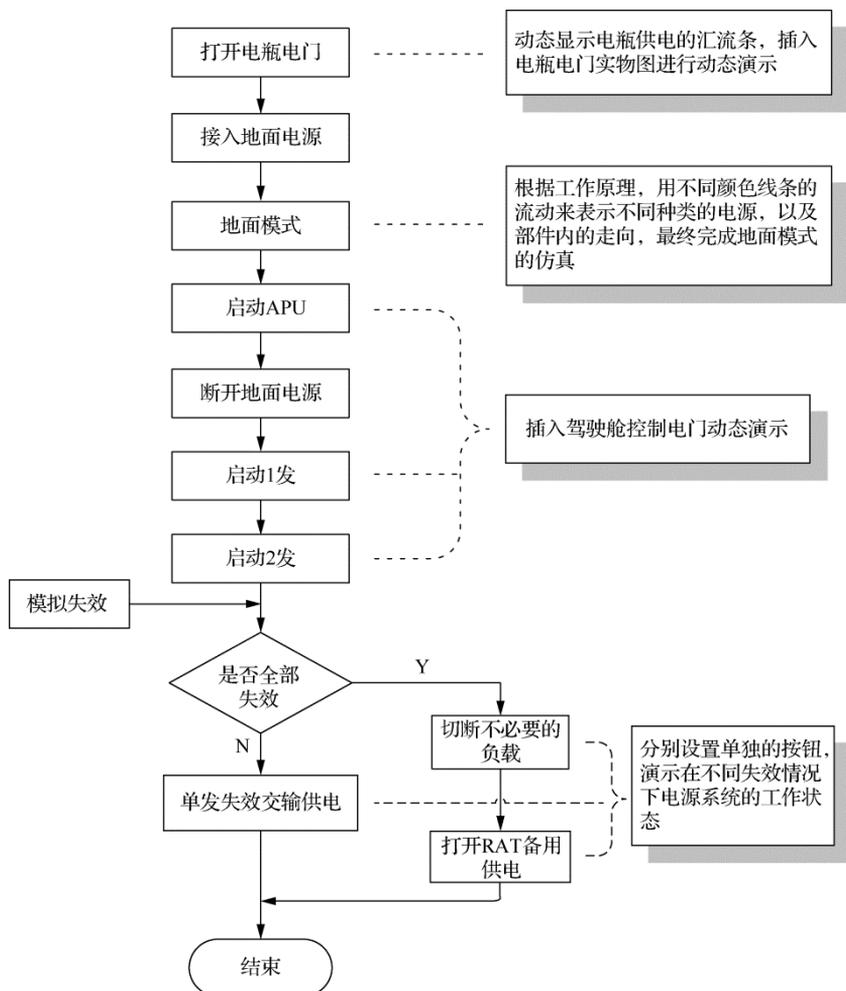


图 1-1-27 电源系统工作流程图

本实验各环节及其对应的实验步骤如下。

- 步骤 1 查看实验教程：了解实验目的，熟悉实验原理和实验步骤。
- 步骤 2 登录实验平台，打开实验环境，接收实验教师分派的实验模块。



- 步骤 3 熟悉不同实验模块的运行环境，了解软件基本操作及控制功能。
- 步骤 4 启动实验模块程序。
- 步骤 5 运行已有实验模块程序，了解参数设置对系统性能的影响。
- 步骤 6 根据功能需求，自行设计电源系统基本模型并调试。
- 步骤 7 完成实验报告，记录实验数据。

六、思考题

1. 交流电源系统包括哪些组成部分？直流电源系统包括哪些组成部分？
2. 交流系统的供电原则是什么？当飞机在空中出现 IDG2 故障时，应如何供电？
3. 备用电源系统包括哪些组成部分？
4. 外部电源面板的位置在何处？有哪些指示？外部电源向飞机供电有哪两种方式？
5. TR UNIT 灯点亮的条件是什么？ELEC 灯点亮的条件是什么？

实验二 燃油系统仿真模拟

一、实验目的

- 深入了解飞机燃油系统的工作原理及故障分析方法。
- 能够使用仿真软件完成燃油系统原理性建模并分析不同参数对飞机燃油系统性能的影响。

二、实验仪器及器材

飞机虚拟仿真实实践教学平台软件。

三、实验原理

飞机燃油系统的基本组成是：燃油储存系统、压力加油系统和放油系统、燃油供给系统、燃油指示系统。

燃油储存系统是为了存储和输送动力装置所需燃料而设置的，其功能是储存燃料。燃油供给系统保证在规定的飞行情况（如各种飞行高度、飞行姿态）下，按需要安全可靠地将燃油输送给发动机和 APU。

除上述主要功能外，飞机燃油系统还具有调节飞机重心和冷却介质的作用，即通过燃油系统，可调整飞机横向和纵向重心位置：横向重心调整可保持飞机的平衡，减小机翼结构受力；纵向重心调整可减小飞机平尾配平角度，减小配平阻力，降低燃油消耗。此外，燃油可作为冷却介质，冷却润滑油、液压油和其他附件。

（一）燃油储存系统

以 B737 800 燃油储存系统为例，它主要由 1 号主油箱、2 号主油箱、中央油箱及通气防溢油箱组成（见图 1-2-1）：1 号主油箱的容量[以 lb（磅）为单位]是 8 630 lb（约 3 915 kg）、2 号主油箱的容量是 8 630 lb（约 3 915 kg）、中央油箱的容量是 28 803 lb（约 13 065 kg），总储油容量是 46 063 lb（约 20 894 kg）。燃油箱的总储油容量不包括通气防溢油箱（容量是 235 lb）的油量，它只用于收集溢流燃油。

左机翼防溢通气油箱的溢流燃油回到 1 号主油箱，右机翼防溢通气油箱的溢流燃油回到 2 号主油箱。如果防溢通气油箱中的油量足够多，就会从通气斗中排出机外。

（二）压力加油系统和放油系统

压力加油系统可以给所有油箱加油，燃油在油箱中传输时，也使用该系统。

以 B737-800 为例，所有的油箱都可以从右机翼的加油站加油。加油站包括加油面板、加油总管、加油接头、加油关断活门等。

号主油箱和 2 号主油箱进行抽吸放油，还可以在地面上使用放油系统将燃油从一个油箱转移到另一个油箱。放油活门位于右机翼前梁，安装在右发动机供油总管和加油站管路之间。

（三）燃油供给系统

燃油供给系统包括发动机燃油供给系统和 APU 燃油供给系统。发动机燃油供给系统从 1 号主油箱、2 号主油箱和中央油箱给发动机供油，每个油箱都有两个增压泵：中央油箱有两个中央油箱增压泵，1 号、2 号主油箱都有前增压泵和后增压泵。通常情况下，先使用中央油箱的燃油，再使用两翼油箱的燃油。APU 燃油供给系统可以从任何油箱给 APU 供油，APU 供油管路从 1 号主油箱开始，经过中央油箱，而后到达 APU。

（四）燃油指示系统

当然，飞机燃油系统还包含很多子系统，但是为了方便研究飞机燃油指示系统，我们需要着重了解油量指示系统、压力指示系统和温度指示系统。

① 油量指示系统既可以为飞行员和机务维修人员提供每个油箱的燃油量指示，也可以为飞机其他系统提供油箱内燃油量信息。燃油传感器是燃油指示系统的关键元件，根据传感器的不同，油量指示系统可分为机械式（浮子式）指示系统、电子式指示系统和油尺。其中，机械式指示系统的指示不准确，精度较低；电子式指示系统精度比较高，但是会因为燃油内水分的影响导致精度下降，甚至造成系统完全故障。因此，除了需要加装温度补偿器，弥补温度波动对油量指示的影响之外，还要从油箱加油管引一油管到油量传感器和温度补偿器处，每次加油时，加入的清洁燃油可对传感器和补偿器进行清洗。油尺则为地面维修人员确定飞机每一个油箱内的燃油量提供了可能，其构造简单，使用方便。

② 压力指示系统在驾驶舱燃油控制面板设有燃油增压泵的低压指示灯，其作用是当燃油增压泵输出压力低于特定值时，向机组发出警告。

③ 燃油温度指示系统采用电阻式温度传感器，感受油箱内油液温度，并将其显示在燃油控制面板的燃油温度表上，用以监视燃油的温度。

B737-800 的燃油感温棒在 1 号油箱的后梁上，燃油温度指示器在 P5 面板上，燃油温度指示器显示 1 号主油箱的燃油温度。

燃油指示系统计算每个油箱中的燃油质量，显示在公共显示系统（CDS）上。燃油量处理器组件计算总的燃油质量，并将其输入飞行管理计算机系统。

油箱内共有 32 个油箱组件和 3 个补偿器。其中，油箱组件有 12 个在 1、2 号主油箱，8 个在中央油箱，且每个油箱有一个补偿器。

燃油量处理器组件在前设备中心的后隔壁上，具有以下功能。

- ① 计算每个油箱的燃油质量。
- ② 计算总燃油质量。
- ③ 将燃油质量发送到公共显示系统。
- ④ 将燃油质量发送到 P15 加油面板。
- ⑤ 将燃油质量发送到飞行管理计算机系统。
- ⑥ 监控燃油系统故障。
- ⑦ 将故障存储在不易失存储器中。