# 实验4 系统频域特性测试与分析实验指导书

一、实验目的

1. 学习测量系统(或环节)频率特性曲线的方法和技能。

2. 测量模拟系统的开环频率特性曲线(对数幅频曲线和相频曲线)。

二、实验仪器

GSMT2014型直流伺服系统控制平台;直流伺服系统电控箱; PC (MATLAB 平台)

三、实验原理

当输入正弦信号时,线性系统的稳态响应具有随频率而变化的特性。虽然控制系统的输入信号不是正弦函数,而是其他形式的周期或非周期函数,都能满足狄利克莱条件,可以用 富氏级数展开成各种谐波分量,而非周期信号也可以用富氏积表示为连续的频谱函数。上述 就是频率响应法的基本思想。

系统(或环节)的频率特性<sup>G(j@)</sup>是一个复变量,可以表示成以角频率<sup>@</sup>为参数的幅 值和相角:设被测系统的原理方框图如图 6-1-1 所示,图 6-1-2 是相应的结构图。



图 4-1 原理方框图

图 4.1 所示系统的开环频率特性为

$$G(j\omega) = \frac{C(j\omega)}{R(j\omega)} = \left|\frac{C(j\omega)}{R(j\omega)}\right| \ge \frac{C(j\omega)}{R(j\omega)}$$

采用对数幅频特性和相频特性表示

$$20\lg |G(j\omega)| = 20\lg \left|\frac{C(j\omega)}{R(j\omega)}\right| = 20\lg |C(j\omega)| - 20\lg |R(j\omega)|$$

和

$$\angle G(j\omega) = \angle \frac{C(j\omega)}{R(j\omega)} = \angle C(j\omega) - \angle R(j\omega)$$

将系统产生的超低频正弦信号的频率从低到高变化,并施加于被测系统的输入端 R(t), 然后分别测量相应的输出信号 C(t)和输入信号 R(t)的对数幅值和相位。

根据实验开环对数幅频曲线画出开环对数幅频曲线的渐近线,再根据渐近线的斜率和转 角频率确定频率特性(或传递函数)。所确定的频率特性(或传递函数)的正确性可以由测 量的相频曲线来检验,对最小相位系统而言,实际测量所得的相频曲线必须与由确定的频率 特性(或传递函数)所画出的理论相频曲线在一定程度上相符。 本实验为测量直流伺服电机控制系统的频率特性,其结构图为:



图 4-2 被测系统控制结构图

- 四、实验准备
- <mark>设置为力矩环,一轴电机和二轴电机连皮带,两个 COM 口都需要设置</mark>
  - 1. 运行 MATLAB 程序前需把电机驱动器模式改为电流环运行(重新修改驱动器参数)。



1) 双击桌面图标 suctor , 打开 Easymotionstudio 软件

S EasyMotion Studio			_ 0 ×
Project Communication View Help			
□\$			
Point Consultation Ver. No. No. 20 ⇒ kt (c) C to be have a ref to the form of the form o	T E C H N O S O F T		
Ready		Online (AxisID 25!	S/N XP14E Firmware F024

2) 点击菜单栏中 "Communication" → "Setup…" 弹出如下界面,选择设备连接到电脑的 COM □ (一轴电机为 COM1,二轴电机为 COM2), COM □在电脑设备管理器中可以 查看,连接需要修改的电机轴(一轴)所连接的串□,即 COM1,更改波特率,点击"OK"。

Communication Setup	
Channel Type: RS23	2
CAN Protocol: TMLC	AN (CAN 2.0B, 29-bit identifiers)
	Port: COM1
	Baud Rate: 115200 💌
Axis ID of drive/motor con	nected to PC is 255
	Advanced
ОК	Cancel Help

3) 此时下侧状态栏显示状态为 "Online",点击 "New" →选择 "Upload from Drive/Motor"



4) 点击 "Project" 界面下的 "Setup" → "View/Modify" 进入参数设置界面



Guideline assistant         Previous         Next    Step 1. Select your motor from a database. If your motor does not exist in any database, proceed through all the next steps in order to deline your motor and sensors data. In either case, use the tests from the next steps to verify/detect the motor and sensors parameters and operation.	Database       Motor       Save to User Database         Drive       Save to User Database         Delete
Motor data       Nominal current       6       A       ▼         Peak current       8       A       ▼         Torque constant       0.065       Nm/A       ▼         Phase resistance (motor + drive)       3.44       Ohms       ▼         Phase inductance (motor + drive)       0.00023       H       ▼         Motor inertia       0.0000256       kgm^2       ▼	Motor inertia is unknown
Motor and load sensors       No. of lines/rev       1000         Incremental encoder on motor       No. of lines/rev       1000         Tacho on motor       Tacho gain       0.048         Incremental encoder on load and tacho on motor       Tacho gain       0.048         Temperature       Sensor type         Image: Comparison of the sensor type       OPTC	lines     Test Connections       V/rad/s
Transmission to load Transmission type:  C Rotary to rotary Motor dis C Rotary to linear correspon	splacement of 1 rot nds on load to 1 rot

5) 点击"Drive Setup"关闭"DC Motor Setup"界面

	C Motor Setup
iuid itep vani	Guideline assistant         Previous         Step 1. Select your motor from a database. If your motor does not exist in any database, proceed through all the next steps in order to define your motor and sensors data. In either case, use the tests from the next steps to verify/detect the motor and sensors parameters and operation.         Next         Database         Setup         Motor         Setup         Cancel         Save to User Database         Delete
Bau Drive owe urrer Curre I	Motor data       Nominal current       6       A       Image: Constant       Im
<sup>2</sup> osit k (d fil	C Tacho on motor       Tacho gain       0.048       V/rad/s         C Incremental encoder on load and tacho on motor       Image: Construction of the second sec

6) 设置参数如下图所示,改成"Torque"模式(力矩模式),点击"Setup"设置电压电流的换比例(控制器给驱动器发送电压,驱动器把电压转换成电流产生力矩)设置为10V 对应 6A,点击"OK"完成设置。



7) 点击"OK",完成所有参数设置,退出参数设置界面

ive Setup	-		1 mm 1 mm	22
- Guideline assistant	Previous	Next	Control mode External reference	Setup
Step 1. In the < <control control:="" position<="" td="" to="" want=""><td>  mode&gt;&gt; group box, selec , speed or torque.</td><td>st what do you 🔺</td><td>C Speed C Analogue C Pulse &amp; Directi</td><td>on Cancel</td></control>	mode>> group box, selec , speed or torque.	st what do you 🔺	C Speed C Analogue C Pulse & Directi	on Cancel
		Ŧ	Advanced IV Automatically activated after F	'ower On Motor
CANbus Baud rate F/W defa	ault 💌		Drive Info Set / change axisID	Setup
Drive operation paramet	ers		Protections	
Power supply 23.7419 Current limit 6.11		Detect	✓         Over current           Motor current > 6.11         A           ✓         for more the second secon	<sub>han</sub> 0.001 s 💌
Current controller			Control error Position error > 90 deg 💌 for more t	han 0.01 s 💌
Ki 0.237		Tune & Test	Control error Speed error > 3.09e+003 rpm rfor more	than 32.77 s 🖃
Кр 1160	Integral limit 33	× -	Motor over temperature	
Ki 17.4	Feedforward 0	(Acceleration)		
		Tune & Test	Over current 6.116 A	for 2.048 s 💌
Position controller			External brake resistor	
Кр 0.2	Integral limit 10	% 🔻	Connected Activate if power supp	ly > 28 V 💌
Ki 0.009979	Feedforward	(Speed)	Inputs polarity	
Kd 1		(Acceleration)	Enable Limit sw	itch+ Limit switch-
Kd filter 0.1			C Active high (Enabled after power-on)	e high C Active high
		Tune & Test	<ul> <li>Active low (Disabled after power-on)</li> <li>Active</li> </ul>	e low 📀 Active low

8) 点击 "Download to Drive/Motor"下载到驱动器,点击"×"重启驱动器(也可以断电重启电箱),设置完成,关闭该软件。



9) 重复操作 2~8, 直至一轴和二轴驱动器参数均修改完成。

### 2. 大带轮通过同步带同时连接一轴电机和二轴电机



### 五、实验步骤

1. Simulink 仿真实验

绘制直流伺服电机系统的开环频率特性曲线,并根据曲线求取闭环系统的性能指标。 1) 打开 MATLAB, 点击"New"→"Scrint"新建编辑器。

1) 11/1 MALE	д, "щ new	7 Script	加 建 洲 杆 皕	0				
📣 MATLAB R2015b	- academic use					-		
HOME	PLOTS APPS							
	Z Editor - Untitled				<u></u>			x
Script	EDITOR	PUBLISH	VIEW		4 🖻 🛍	9 ¢	E ? (	⊙ ⊼
FILE	FILE NAVIGATE EDIT	Breakpoints	Run Run and	Run Section	Run and			
Current Folder		*	<ul> <li>Advance</li> </ul>	Advance	Time			
ModleTest sin	Untitled ×			RUN				
		T						
		s	cript			Ln 1	Col 1	<u>.</u>
2) 在编辑器中	1编写程序,画出	系统的开环	不幅频特性曲	由线和相频物	寺性曲线	。记录	相应的	曲线。

 3) 点击 ≥ 运行程序,可得到系统的开环频率特性曲线。在幅值曲线上选择幅值为 0dB 的 点得到<sup>∞</sup>, 记录数值;在相频曲线上选择<sup>∞</sup>,对应的点得到相角裕度γ,记录数值。

#### 2. 实时控制

在 Simulink 中构建实时控制程序,如下图所示。分别取 ω=0.5、1、2,3,5,10 测 得 R(s)、 *C*(s) 的频率曲线,读取对应的幅值,计算二者的相位差,填入表格。

- 1) 打开直流伺服系统控制平台电控箱的电源。
- 2) 打开桌面上程序"OneOrder\_Freq\_Ctrl.slx",会弹出如图所示的实时控制界面。



3) 点击"<sup>1</sup>"运行程序,打开"Sine Wave"模块,设置正弦波的幅值为1,频率为0.1。双击"Manual Switch"将输入信号切换成正弦波。

Sine Wave
Output a sine wave:
O(t) = Amp*Sin(Freq*t+Phase) + Bias
Sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:
Samples per period = 2*pi / (Frequency * Sample time)
Number of offset samples = Phase * Samples per period / (2*pi)
Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.
Parameters
Sine type: Time based 🔹
Time (t): Use simulation time
Amplitude:
1
Bias:
0
Frequency:
0.1
Phase (rad):
0
Time (t): Use simulation time  Amplitude:  I Bias: 0 Frequency: 0.1 Phase (rad): 0

- 4) 小车在此频率下运行十个周期以上,然后将输入信号切回到0,回到平衡点。
- 5) 重复步骤 3)~4),分别设置频率为 0.5、1、2、3、5、10。
- 6) 得到 R(s)、 C(s) 的响应,记录运行三个周期以上的数据。

7) 测试完成后点击 ● 停止运行程序。

## 六、实验分析及思考

- 1. 传递函数概念适用于什么系统?
- 2. 系统输入正弦信号的幅值能太大吗,能太小吗,应该如何选取?
- 3. 若需要测量系统内部某个环节或闭环系统的频率特性,如何测量?