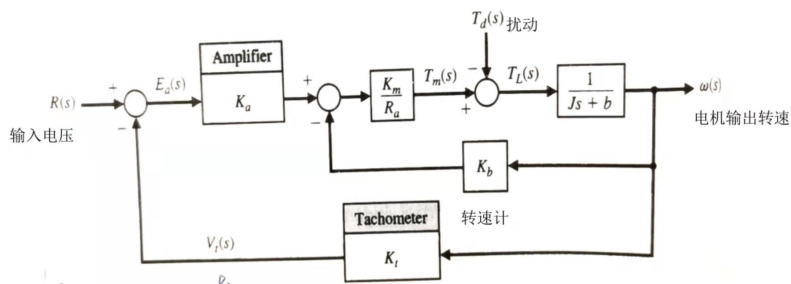


智能系统控制第一次实验

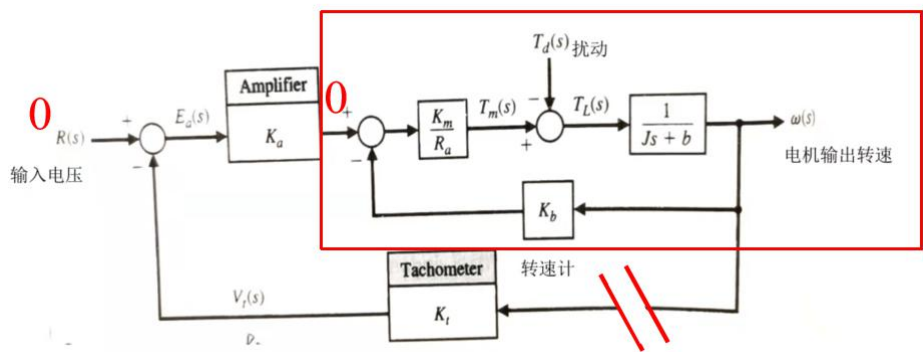
20123101 李昀哲



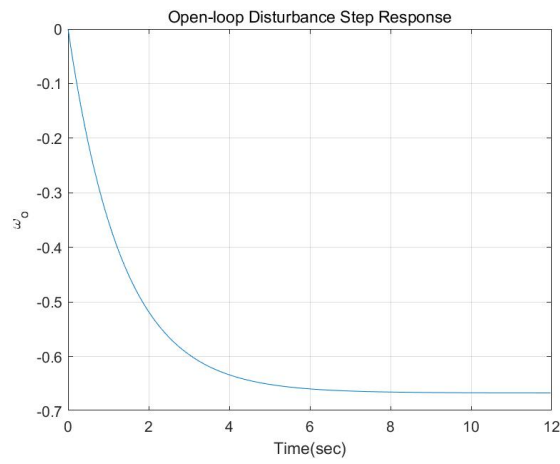
R_a	K_m	J	b	K_b	K_a	K_t
1	10	2	0.5	0.1	54	1

实验目的：设输入电压为0时，扰动信号为 $T_d(s)=1/s$ ，分别比较在无转速计开环控制状态下和有转速计闭环控制状态下电机输出转速稳定误差。

一、开环系统控制及调参实验结果



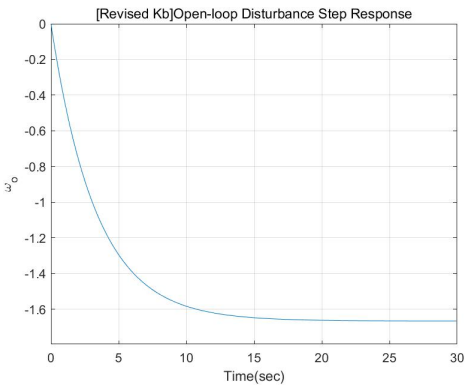
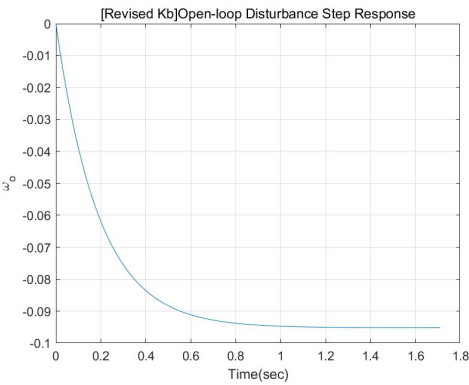
初始结果：初始开环传递函数：
$$\frac{\omega(s)}{T_d(s)} = \frac{-1}{2s + 1.5} = \text{sys}_o$$



Kb 调整为 1 和 0.01 后的结果：

调整 Kb 后稳态误差的收敛速度和输出量都有了较大的改变，主要改变的是传递函数的分母。

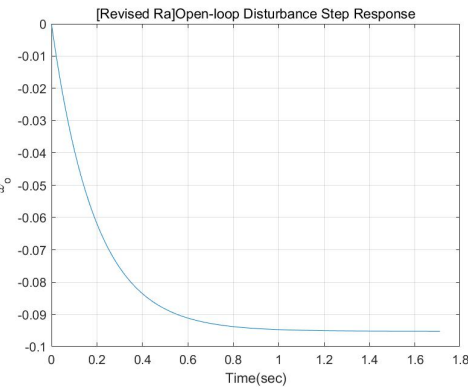
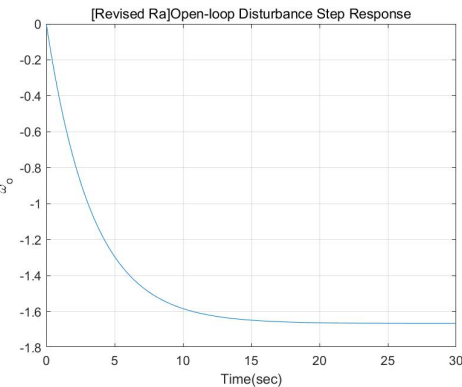
Ra	Km	J	b	Kb	Transfer Function	Ans
1	10	5	0.5	1	$-1/(2s+10.5)$	-0.0952
1	10	10	0.5	0.01	$-1/(2s+0.6)$	-1.6665



Ra 调整为 10 和 0.1 后结果：

Ra 调整后同 Kb 类似，也在稳态误差收敛速度和输出量上有较大变动，不同的是，Ra 越大传递函数分母越小，这也是其系统特性导致：

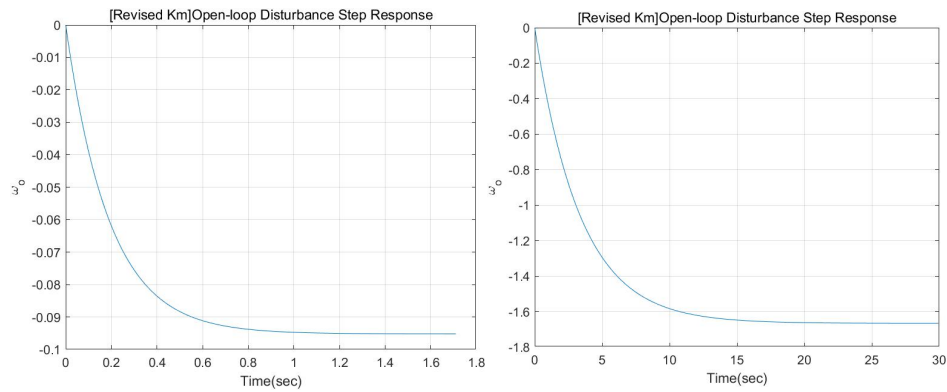
Ra	Km	J	b	Kb	Transfer Function	Ans
10	10	5	0.5	0.1	$-1/(2s+0.6)$	-1.6665
0.1	10	10	0.5	0.1	$-1/(2s+10.5)$	-0.0952



Km 调整为 100 和 1 后结果：

Km 和 Ra、Kb 同属分母部分，三者的单一改变都会造成类似的结果，即，对收敛速度和输出量的较大改变：

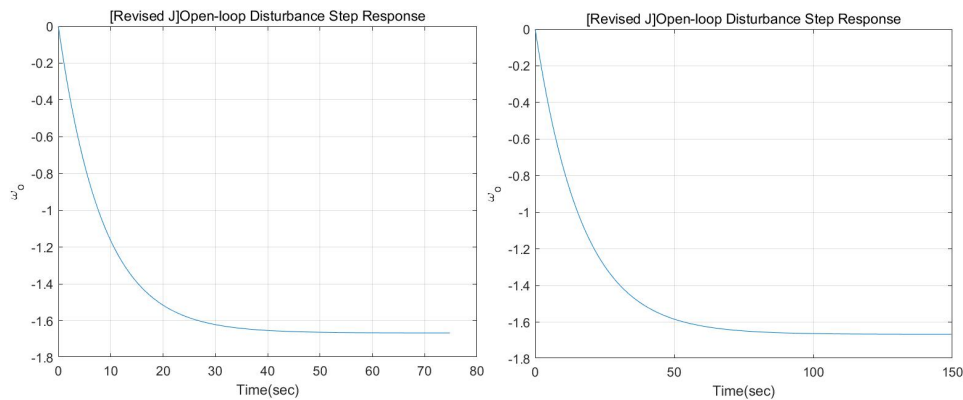
Ra	Km	J	b	Kb	Transfer Function	Ans
1	100	2	0.5	0.1	$-1/(2s+10.5)$	-0.0952
1	1	2	0.5	0.1	$-1/(2s+0.6)$	-1.6665



J 调整为 5 和 10 后结果:

对 J 的改动，仅对稳态误差的收敛速度有影响，对输出量没有影响；

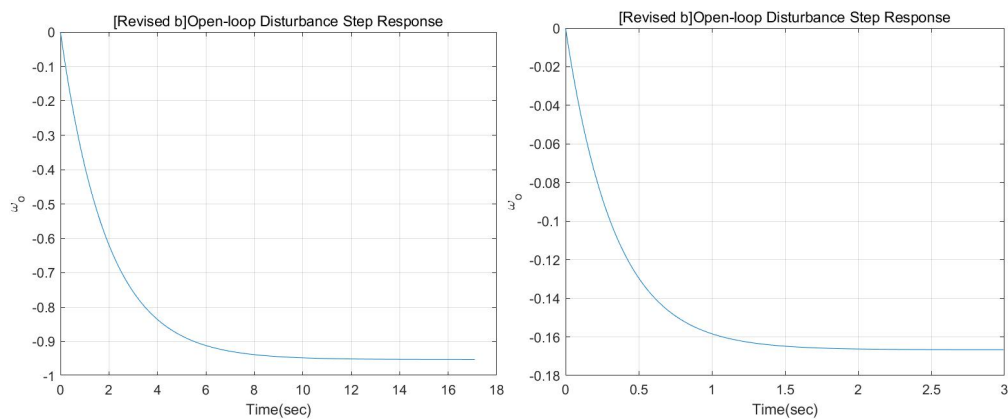
Ra	Km	J	b	Kb	Transfer Function	Ans
1	10	5	0.5	0.1	$-1/(5s+1.5)$	-0.6666
1	10	10	0.5	0.1	$-1/(10s+1.5)$	-0.6666



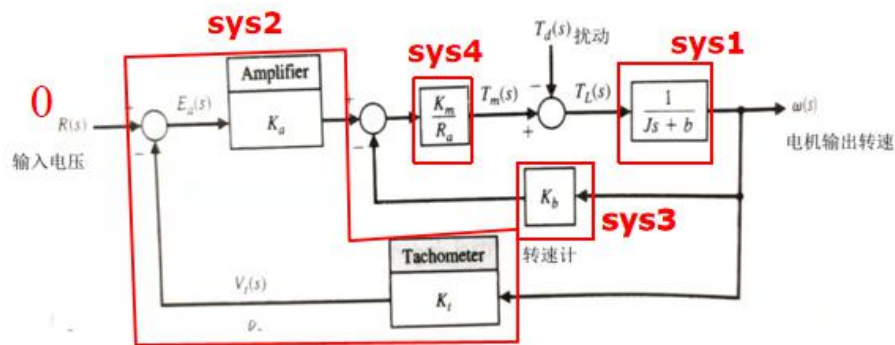
b 调整为 0.05 和 5 后结果:

对 b 的调整也同 Km、Ra、Kb 类似，调整会对收敛速度和输出量造成影响；

Ra	Km	J	b	Kb	Transfer Function	Ans
1	10	2	0.05	0.1	$-1/(2s+1.05)$	-0.9523
1	10	2	5	0.1	$-1/(2s+6)$	-0.1666

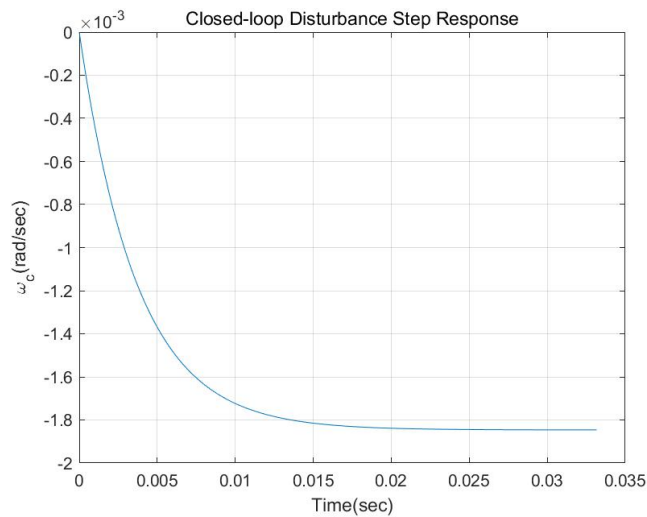


二、闭环系统控制及调参实验结果



闭环传递函数： $\frac{\omega(s)}{T_d(s)} = \frac{-1}{2s+541.5} = \text{sys_c}$

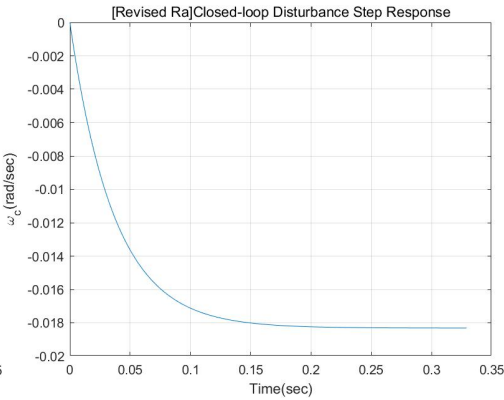
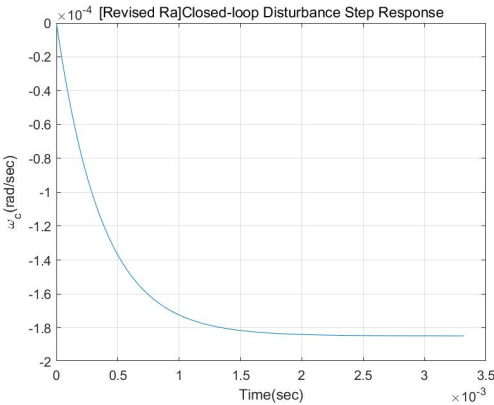
初始结果：



Ra 调整为 0.1 和 10 后结果：

对 Ra 的调整效果和开环类似，但效果和调整比例有关联，而开环则不具备这种性质；

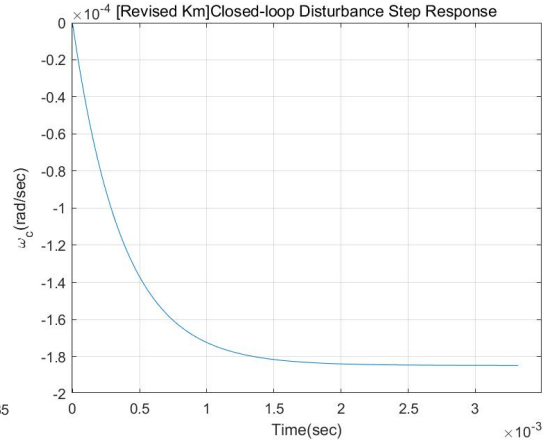
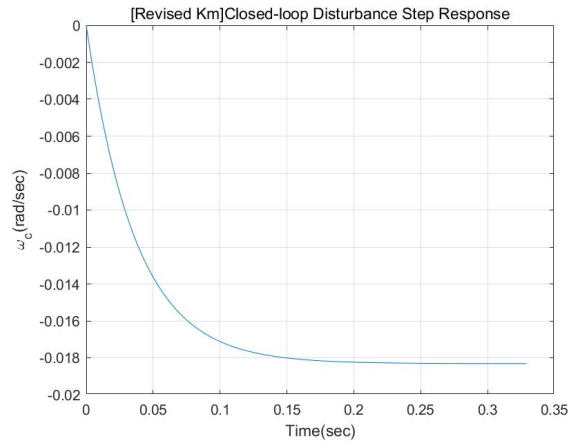
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
0.1	10	2	0.5	0.1	54	1	$-1/(2s+5410)$	-1.8480e-04
10	10	2	0.5	0.1	54	1	$-1/(2s+54.6)$	-0.0183



Km 调整为 1 和 100 后结果：

Km 和 Ra 类似，会对结果有比例关联，对收敛速度和输出量有影响：

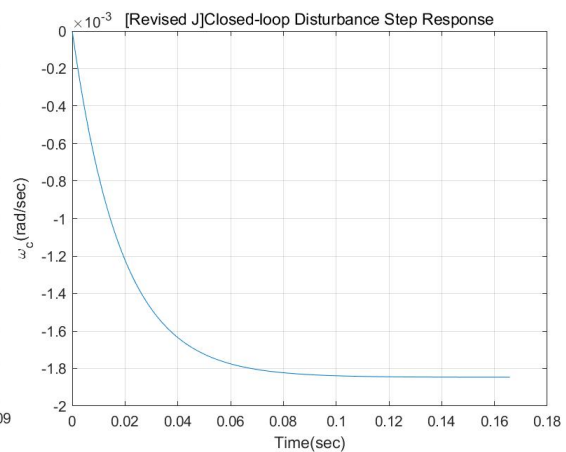
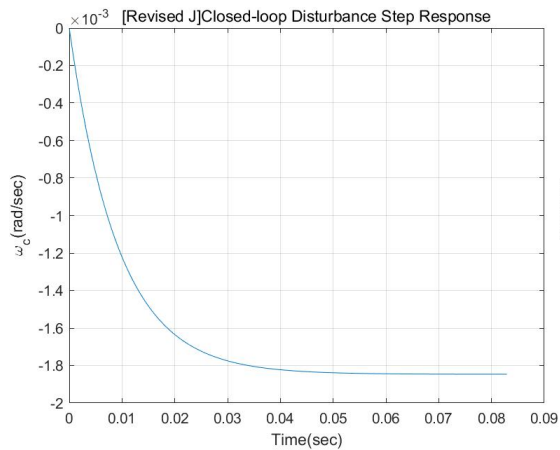
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	1	2	0.5	0.1	54	1	$-1/(2s+54.6)$	-0.0183
1	100	2	0.5	0.1	54	1	$-1/(2s+5410)$	-1.8480e-04



J 调整为 5 和 10 后结果：

J 的调整不会对输出量产生影响，仅影响收敛速度，且成一定比例：

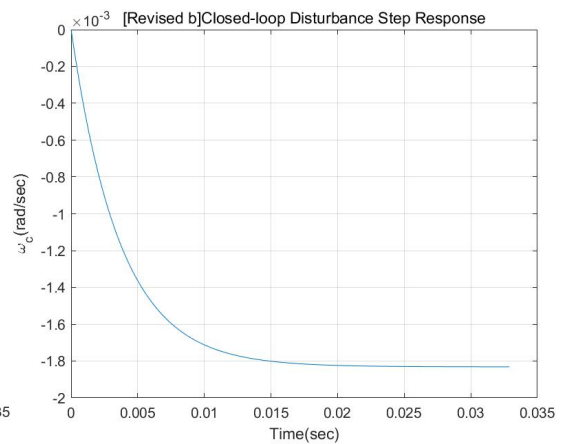
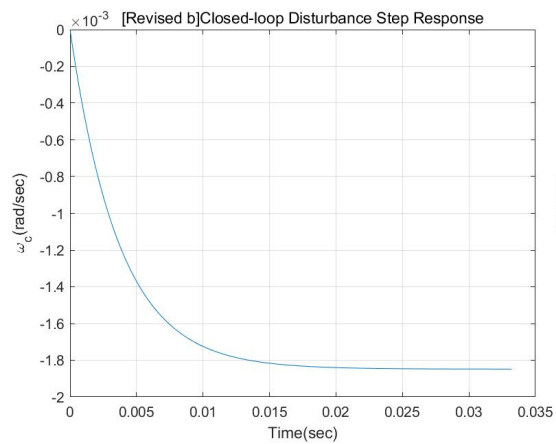
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	10	5	0.5	0.1	54	1	$-1/(5s+541.5)$	-0.0018
1	10	10	0.5	0.1	54	1	$-1/(10s+541.5)$	-0.0018



b 调整为 0.05 和 5 后结果：

b 的调整对收敛速度和输出量几乎不产生影响，仅对传递函数有较小影响：

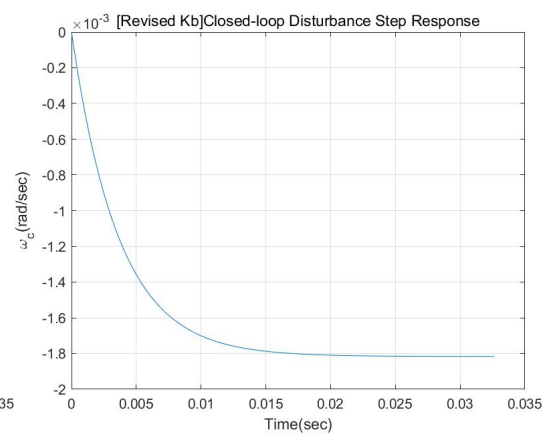
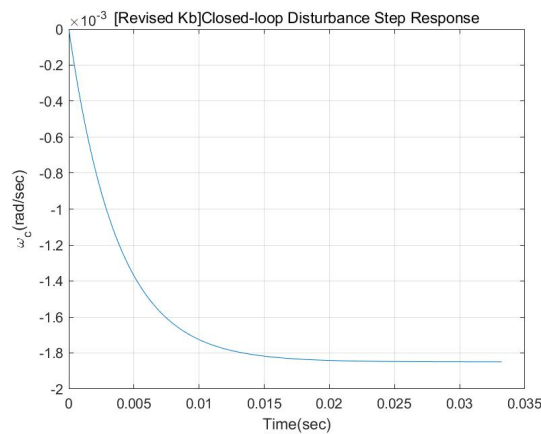
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	10	2	0.05	0.1	54	1	$-1/(2s+541)$	-0.0018
1	10	2	5	0.1	54	1	$-1/(2s+546)$	-0.0018



Kb 调整为 0.01 和 1 后结果：

Kb 和 b 类似，对收敛速度和输出量几乎不产生影响，仅对传递函数有较小影响；

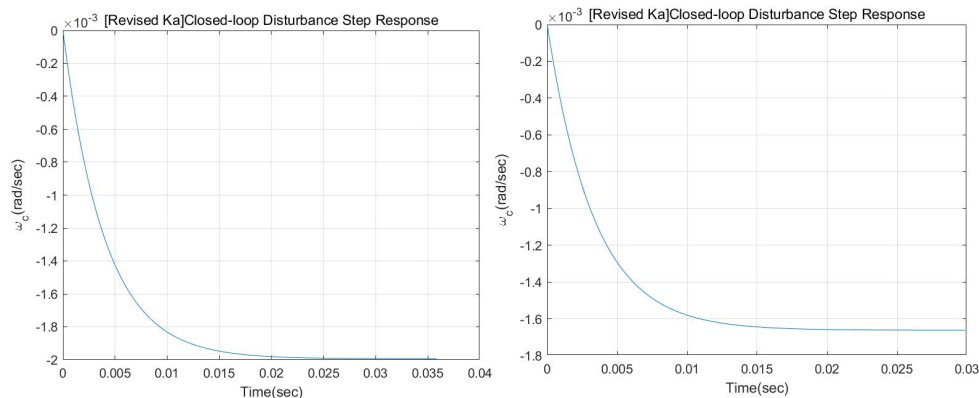
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	10	2	0.5	0.01	54	1	$-1/(2s+540.6)$	-0.0018
1	10	2	0.5	1	54	1	$-1/(2s+550.5)$	-0.0018



Ka 调整为 50 和 60 后的结果

Ka 的调整对收敛速度、输出量有影响，起到了放大器的作用，参数的调整和结果成一定的线性关系；

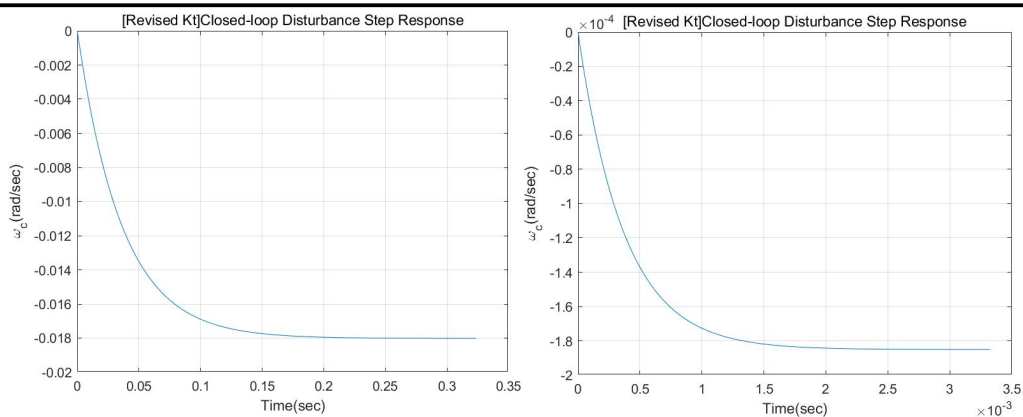
Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	10	2	0.5	0.1	50	1	$-1/(2s+501.5)$	-0.0020
1	10	2	0.5	0.1	60	1	$-1/(2s+601.5)$	-0.0017



Kt 调整为 0.1 和 10 后的结果

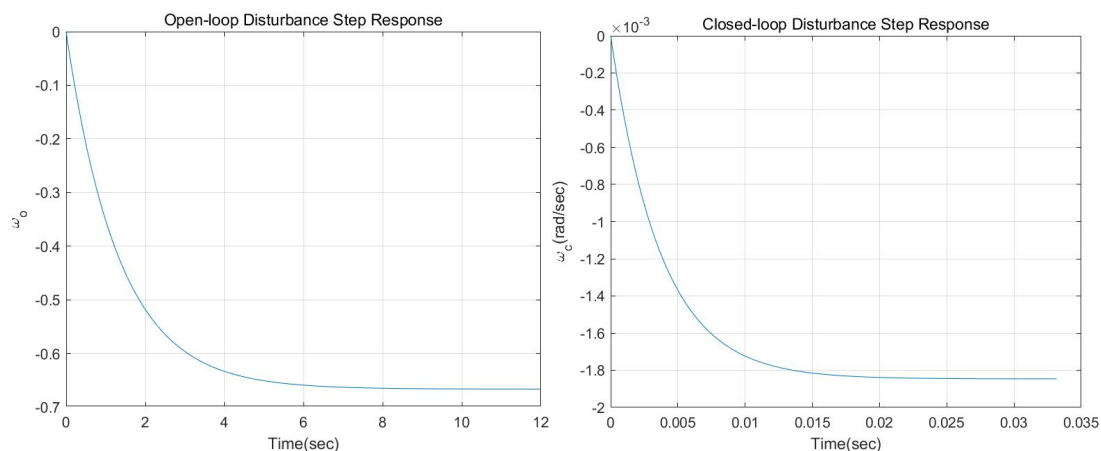
Kt 的调整对收敛速度和输出量有影响，参数相差 10^2 ，输出量相差 10^2 ，收敛速度相差 10^2

Ra	Km	J	b	Kb	Ka	Kt	Transfer Function	Ans
1	10	2	0.5	0.1	54	0.1	$-1/(2s+55.5)$	0.0180
1	10	2	0.5	0.1	54	10	$-1/(2s+5402)$	-1.8511e-04



三、两种系统电机输出转速误差对比分析

对参数确定的初始情况下，通过评估输出对阶跃扰动（Step disturbance）的响应，来分析稳态误差（Steady-state）。开环系统和闭环系统对阶跃信号扰动的输出响应如图所示：



不难发现，闭环系统在 0.035 秒内稳态误差就可以收敛，而开环系统则需要 12 秒左右的实践，且误差量也相差 10^3 ，不在同一量级，由此可以判断闭环控制的性能优于开环控制。

参考源码：

```
% 开环
clc;
clear;
Ra=1; Km=10;J=2;b=0.5;Kb=0.1;
num1=[1];den1=[J,b];sys1=tf(num1,den1);
num2=[Km*Kb/Ra];den2=[1];sys2=tf(num2,den2);
sys_o=feedback(sys1,sys2);
% 改变传递函数符号，因为扰动对系统而言是负反馈
sys_o=-sys_o
% 计算系统对阶跃扰动的响应
[yo,T]=step(sys_o);
plot(T,yo);
title('Open-loop Disturbance Step Response')
xlabel('Time(sec)'),ylabel('\omega_o'),grid
% 显示稳态误差，也就是输出的终值 (last value)
yo(length(T))

% 闭环
clc;
clear;
Ra=1; Km=10;J=2;b=0.5;Kb=0.1;Ka=54;Kt=1;
num1=[1];den1=[J,b];sys1=tf(num1,den1);
num2=[Ka*Kt];den2=[1];sys2=tf(num2,den2);
num3=[Kb];den3=[1];sys3=tf(num3,den3);
num4=[Km/Ra];den4=[1];sys4=tf(num4,den4);
sysa=parallel(sys2,sys3);
sysb=series(sysa,sys4);
sys_c=feedback(sys1,sysb);
% 改变传递函数符号，因为扰动对系统而言是负反馈
sys_c=-sys_c
% 计算系统对阶跃扰动的响应
[yc,T]=step(sys_c);
plot(T,yc);
title('Closed-loop Disturbance Step Response')
xlabel('Time(sec)'),ylabel('\omega_c(rad/sec)'),grid
% 显示稳态误差，也就是输出的终值 (last value)
yc(length(T))
```