



UNICAMP

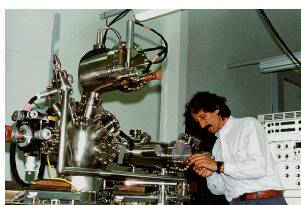
Universidade Estadual de Campinas
Departamento de Física Aplicada - IFGW

Relatório Final

Iniciação Científica I – F590

**CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE UM SISTEMA DE DEPOSIÇÃO A PLASMA DE
FILMES FINOS NANOESTRUTURADOS CONTENDO Ti E N**

Prof. Responsável: Joaquim Lunazzi
Orientador: Prof. Dr. Fernando Alvarez



Aluno: Carlos Alberto Rodrigo da Silva
RA: 157763
carlosbin84(arroba)hotmail.com



Parcerias para o desenvolvimento do projeto foram firmadas, entre o Laboratório de Implantação Iônica e Tratamento de Superfícies (LIITS) e o Laboratório de Pesquisas Fotovoltaicas do IFGW.

Campinas, 2017.

SUMÁRIO

1. MONTAGEM DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO	5
2. ATUALIZAÇÃO DA MONTAGEM DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO	5
3. OS EQUIPAMENTOS QUE FARÃO PARTE DO SISTEMA MULCOM:.....	6
4. SISTEMA DE DEPOSIÇÃO	6
5. TREINAMENTO	8
6. AMBIENTE DE TRABALHO.....	15
7. EXPECTATIVAS.....	15
8. OBJETIVOS.....	15
9. CRONOGRAMA.....	16
10. CONCLUSÕES.....	16
11. OPINIÃO DO ORIENTADOR.....	16
12. REFERÊNCIAS.....	17

1. Montagem do sistema de deposição

O equipamento de deposição *Multi Use Composite Machine* (MULCOM), conta com a parceria entre o Laboratório de Implantação Iônica e Tratamento de Superfícies (LIITS) e o Laboratório de Pesquisas Fotovoltaicas (LPF) O MULCOM já está em sua fase avançada de montagem, com início previsto de operação para maio de 2017.



Figura 1. Imagens do sistema de deposição MULCOM obtida no início do projeto (superiores) e atualizada (inferiores).

2. Atualização da montagem do sistema de deposição



Figura 2. Imagens do sistema de deposição MULCOM obtida no início do junho de 2017 com o sistema de controles.

Na parte superior da figura 1, apresentam-se três imagens do sistema MULCOM na condição anterior ao início deste projeto de iniciação científica. Além disso, pode-se verificar nas imagens inferiores o status atualizado do sistema. As imagens atualizadas foram obtidas no dia 27 de abril de 2017. E na figura 2, apresentam-se três imagens do sistema MULCOM na condição atual, sendo do dia três de junho de 2017. Como pode se ver painéis frontais foram colocados para poder fixar todos os módulos controles dos equipamentos envolvidos na operação do sistema de deposição de filmes finos. Sendo necessário colocar mais dois painéis que estão em fase de acabamento, para o termino dessa etapa.

3. Os equipamentos que farão parte do sistema MULCOM:

- Kit de radio frequência (RF) e DC pulsadas (DCP) para produção de plasma;
- Painel de aquecimento;
- Controlador de banda turbo;
- Leitor de medidas;
- Controlador de fluxo dos gases a serem utilizados no MULCOM;
- Medidor de corrente;
- Leitor do pirômetro—(pirômetro é um tipo de termômetro que mede irradiação térmica da superfície de um objeto e informa a temperatura);
- Medidor de corrente por efeito Hall - Sensores que podem medir correntes AC e DC numa faixa ampla de frequência (vários formatos de onda) e com total isolamento galvânico. Possuem medida direta e a saída é do tipo em corrente ou em tensão;
- Controladores dos servos motores acoplados ao sistema;
- Osciloscópio;

Se necessários outros itens não listados acima poderão complementar o sistema.

4. Sistema de deposição

O MULCOM se diferencia dos sistemas de crescimento de filme fino usuais por possuir duas fontes de produção de plasma. Uma das fontes alimentará um dos magnetrons *puttering* e a outra polarizará o suporte do substrato. Através das fontes de produção de

plasma, os filmes finos serão depositados pela técnica conhecida como Deposição física de vapor (citada como PVD, do inglês *physical vapor deposition*).

PVD - É uma variedade de deposição a vácuo e é um termo geral usado para descrever qualquer uma das variedades desse método de depositar filmes finos pela condensação de uma forma vaporizada do material sobre várias superfícies (p.ex., sobre Wafer semicondutores). O método de revestimento envolve processos puramente físicos tais como uma evaporação no vácuo a alta temperatura ou o bombardeio por borrifos de plasma, assim como, envolvendo uma reação química na superfície a ser revestida como na deposição química em fase vapor. O termo deposição física de vapor aparece originalmente no livro *Vapor Deposition* por C.F. Powell, J.H. Oxley e J.M. Blocher Jr., 1966, porém, Michael Faraday o usou já em 1838, tendo-o descoberto acidentalmente, a partir da observação da deposição de partículas na superfície interna de bulbos de vidro nos quais filamentos elétricos de latão haviam se vaporizado. (Wikipédia; Esta página foi modificada pela última vez à(s) 11:32 min. 29 de março de 2017).

Com o uso de um *magnetron sputtering* que possuirá um alvo contendo Ti em uma atmosfera composta por N₂ e Ar sob uma pressão de 10⁻³ mbar. O N₂ atuará como fonte de N, elemento que será incorporado ao filme, e o Ar processo de *sputtering* do alvo de Ti.

Pulverização catódica (ou *sputtering*) é uma técnica de deposição de material usada para recobrir uma superfície. Sempre que a superfície de um material sólido é bombardeada por átomos ou íons com energias de alguns eV ou KeV ocorrerá erosão da mesma, através da remoção de alguns átomos superficiais. Este fenômeno denomina-se pulverização (“*sputtering*”). Designa-se por alvo, o material a ser pulverizado, que é colocado numa câmara de vácuo juntamente com os materiais que se pretendem revestir os substratos. As espécies mais utilizadas neste bombardeamento são átomos inertes e pesados. Inertes de modo a reduzir a possibilidade de reação com outros íons do plasma e pesados de modo a possuírem um maior momento linear no impacto com o alvo. Por estas razões o argônio é um dos gases mais utilizados. Para ionizar os átomos efetua-se uma descarga elétrica, a baixa pressão, entre o cátodo e o ânodo. (Wikipédia; Esta página foi modificada pela última vez à(s) 20h55min de 9 de julho de 2016).

5. Treinamento

Com o objetivo de efetuar a correta aplicação de Servos Motores na fase inicial de operação do equipamento MULCOM será necessário passar um treinamento para programação dos mesmos. Treinamento que será aplicado pela empresa fornecedora dos equipamentos. Pois será através deles que controlaremos a operação interna da câmara de vácuo. Essa etapa já foi concluída no dia primeiro de junho de 2017 na sede da empresa Kalatec automação. O treinamento realizado abordou os princípios de operação, instalação e manutenção do equipamento escolhido para o projeto:

5.1. Requisitos para o treinamento:

- Conhecimento básico de programação LADDER

5.2. Carga Horária:

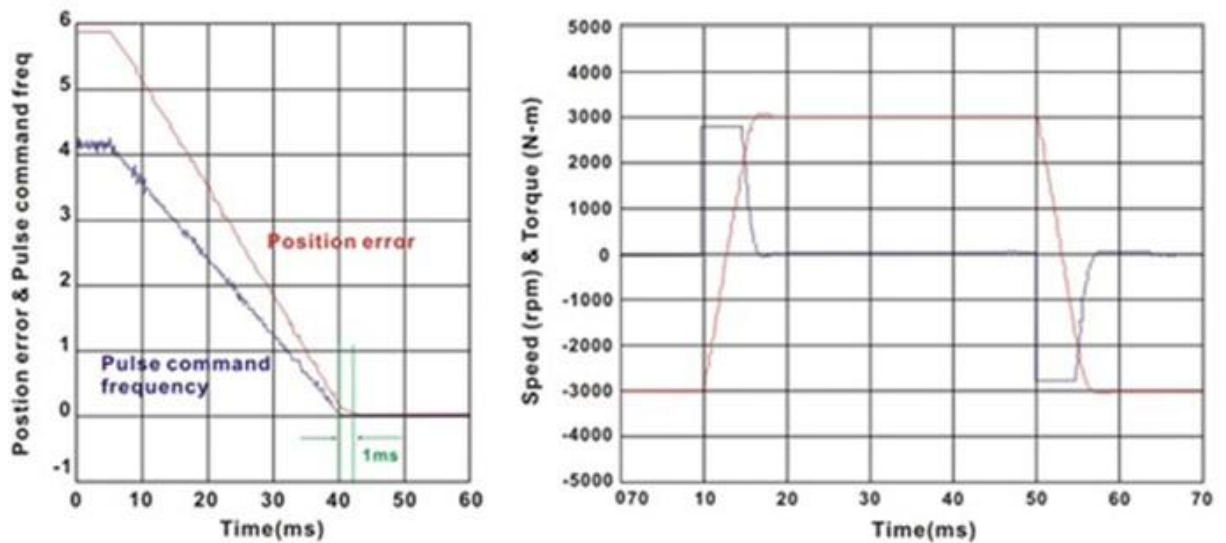
- 4 horas (8h30 às 12:30h)

5.3. Cronograma de treinamento

1. Como fazer um Dimensionamento correto de Servos Motores ou Motores de Passo.
2. Apresentação das famílias de Servos Motores DELTA.
3. Como utilizar o manual do produto
4. Apresentação e Utilização do software configurador do Asdasoft.
5. Como realizar um “Auto-Tuning” nos motores com eficiência.
6. Como configurar o Drive para Modo Posição
7. Como configurar o Drive para Modo Velocidade
8. Apresentação da função PR e E-Cam do servo Motor Linha ASDA - A2 e ASDA - B2.

5.4. Justificativas para o treinamento

Os servos Motores são considerados os motores mais avançados para aplicações industriais. Apresentam resposta rápida e de alto desempenho, capacidade de reversão de 3000 RPM à -3000 RPM em um tempo de 7 ms, 400 W, sem carga. Frequência de resposta acima de 1 KHz com tempo de correção abaixo de 1 ms para correção de erro. Como pode ser observado nos gráficos abaixo:



5.5. Filtros para supressão de ruídos e ressonância

Os servos Drivers ASDA que utilizamos, são construídos com dois filtros, um de baixa frequência para supressão de vibração e outro de alta frequência para supressão de ressonância. Logo, podemos evitar ou minimizar qualquer interferência em nossa rede elétrica que alimenta o sistema e nas fontes de produção de plasma, bem como, em todos os itens já listados acima. Pois o ASDA melhora a supressão de vibração com uma simples configuração de parâmetro, seja ele físico ou através do software.

5.6. Protocolos de Comunicação

Os servos drivers modelo B2, estão disponíveis com a comunicação MODBUS via RS485 para alteração de parâmetros. Como exemplo o servo drive B2 em modo velocidade ou modo torque pode ser controlado via porta serial, e assim, alterar o fundo de escala da velocidade ou torque via rede.

5.7. Por que utilizar o servo driver ASDA B2

Por possuir uma maior Precisão, estabilização de energia e nas potencias de 200 W a 3.0 KW. Disponível em 03 modos de operação. Por este motivo, sendo o equipamento que melhor atende as nossas necessidades no desenvolvimento do Sistema MULCOM.



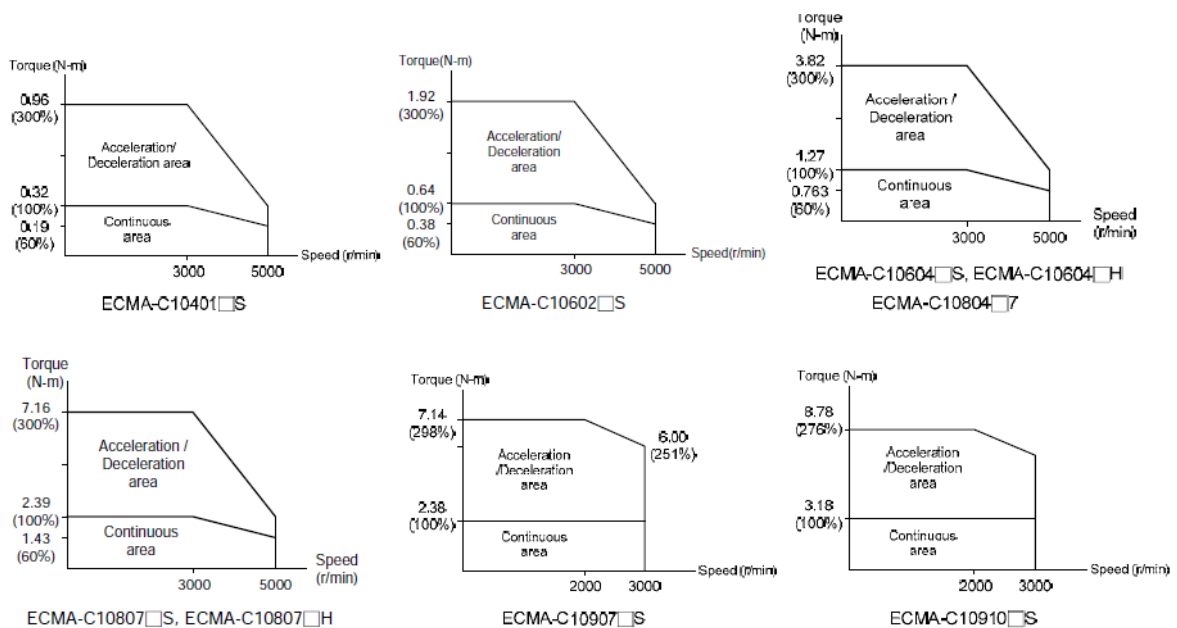
Modo posicionamento: Controle de posição a partir de sinais de PULSO/DIRECAO

Modo velocidade: Controle de velocidade a partir de uma referência externa 0 - 10 V ou valor fixo programado que oferece uma saída simuladora de Encoder para controle em malha fechada em CNCs.

Modo torque: Controle de torque a partir da referência de uma entrada analógica 0 – 10 V ou valor fixo pré-programado. Função muito utilizada para sistemas o que será útil em nossas aplicações que requerer o misto das funções posicionamento e modo torque. O modelo ASDA-B2 possui um resolução do Encoder que é de 17 bits (160.000 pulsos por revolução) que propicia uma resposta excelente com frequência de até 550 KHz e tempo de estabilização de 1 ms. Além de uma série de driver ASDA-B2 possuem certificações para atender as exigências:

- UL (Underwriters Laboratories);
- cUL (conforming products);
- CE (Sigla francesa para Conformité Européenne, ou "Conformidade Européia");
- RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances, Restrição de Certas Substâncias Perigosas).

5.8. Funções de torque (curvas T-N)



Auto-Tuning no Servo Motor: Para obter a máxima desempenho do servo motor, é necessários ajustes dos K_p , K_d e K_i (variáveis auxiliares), os cálculos para esses valores são complexos. E para otimizar o tempo de *startup* dos servos motores ao realizar o auto-tuning esses valores são calculados automaticamente.

5.9. Especificações do Servo Drives ASDA-B2 utilizado no sistema MULCOM.

ASDA-B2 Series		100W	200W	400W	750W	1kW	1.5kW	2kW	3kW	
		01	02	04	07	10	15	20	30	
Power	Phase / Voltage	Three-phase: 170 – 255 VAC, 50/60 Hz $\pm 5\%$ Single-phase: 200 – 255 VAC, 50/60Hz $\pm 5\%$						Three-phase 170 – 255 VAC 50/60 Hz $\pm 5\%$		
	Input Current (3PH) Unit: Arms	0.7	1.11	1.86	3.66	4.68	5.9	8.76	9.83	
	Input Current (1PH) Unit: Arms	0.9	1.92	3.22	6.78	8.88	10.3	-	-	
	Continuous Output Current Unit: Arms	0.9	1.55	2.6	5.1	7.3	8.3	13.4	19.4	
Cooling Method		Natural cooling				Fan cooling				
Encoder Resolution / Feedback Resolution		17-bit (160000 p/rev)								
Main Circuit Control		SVPWM Control								
Control Mode		Manual / Auto								
Regenerative Resistor		None		Built-in						
Position Control Mode	Max. Input Pulse Frequency	Line driver: 500 K (low-speed) / 4 Mpps (high-speed) Open collector: 200 Kpps								
	Pulse Type	Pulse + Symbol, A phase + B phase, CCW pulse + CW pulse								
	Command Source	External pulse								
	Smoothing Strategy	Low-pass filter								
	E-gear Ratio	E-gear ratio: N/M time(s). The limit is: $(1/50 < N/M < 25600)$ $N : 1 - (2^{26}-1) / M : 1 - (2^{31}-1)$								
	Torque Limit	Parameter settings								
Feed Forward Compensation		Parameter settings								
Speed Control Mode	Analog Command Input	Voltage Range	0 – ± 10 V _{DC}							
		Input Resistance	10K Ω							
		Time Constant	2.2 μ s							
	Speed Control Range ¹	1:5000								
	Command Source	External analog command / Register								
	Smoothing Strategy	Low-pass and S-curve filter								

5.10. Linguagem C: Para esta função precisa de dois parâmetros.

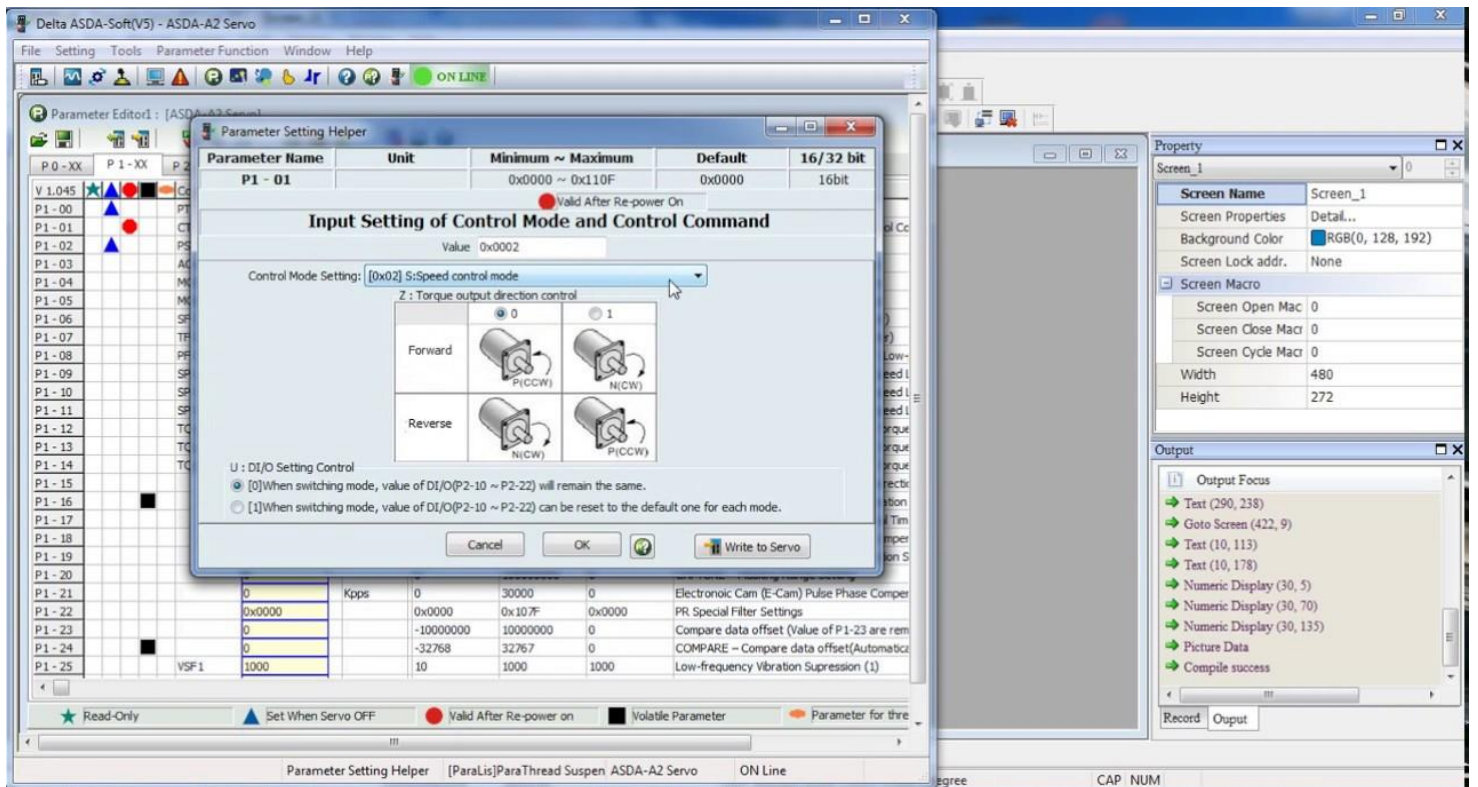
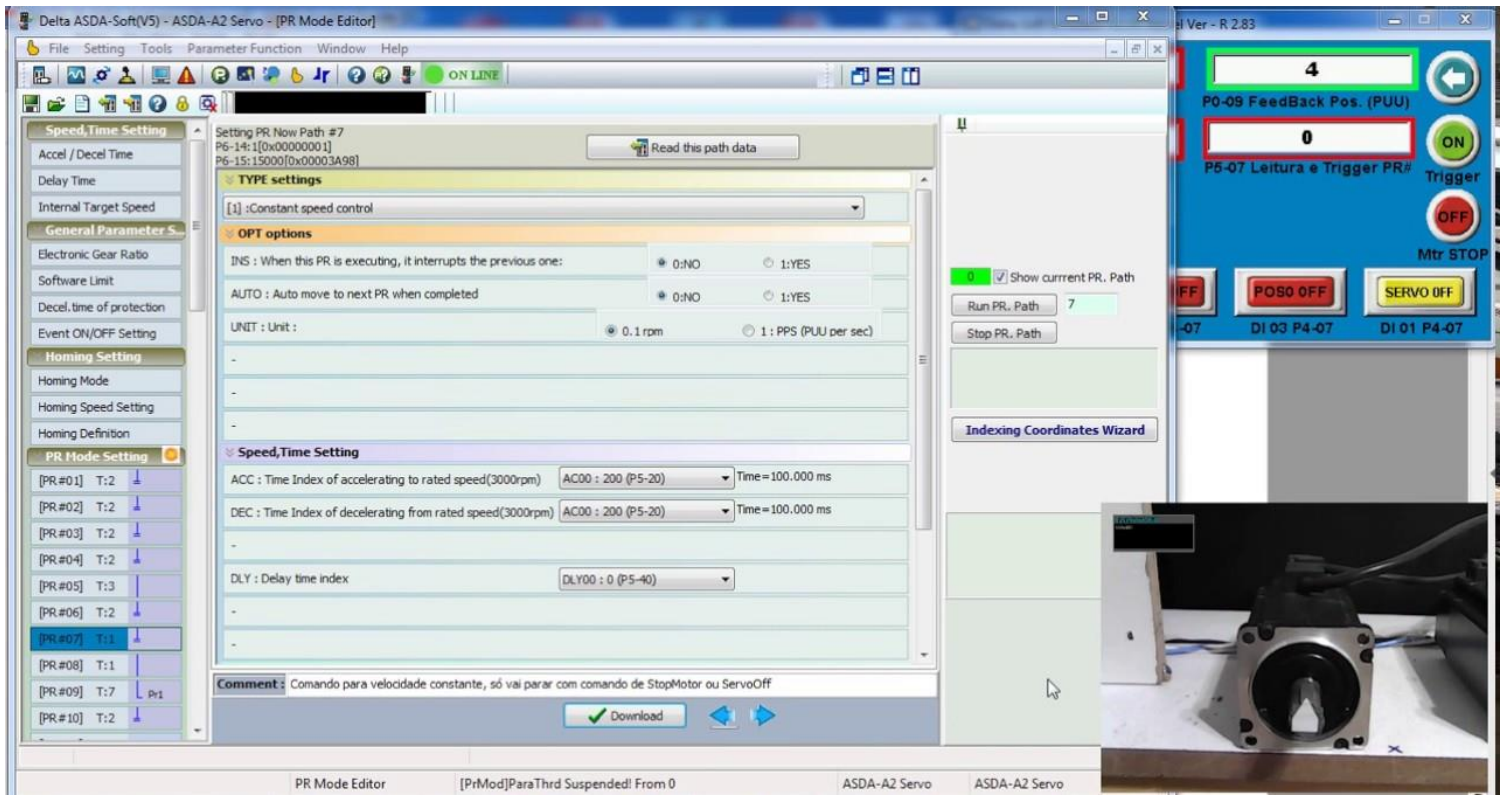
```
unsigned char* data;
unsigned char length
The function returns the CRC value as a type of unsigned integer.
unsigned int crc_chk(unsigned char* data, unsigned char length) {
int j;
unsigned int reg_crc=0xFFFF;
while( length-- ) {
reg_crc^= *data++;
for (j=0; j<8; j++) {
if( reg_crc & 0x01 ) { /*LSB(bit 0) = 1 */
reg_crc = (reg_crc >> 1)^0xA001;
} else {
reg_crc = (reg_crc>>1);
}}}
return crc;
}
```

PC communication program example:

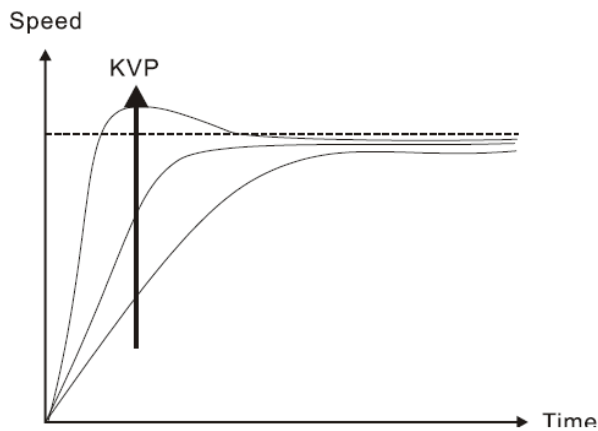
```
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
#include<conio.h>
#include<process.h>
#define PORT 0x03F8 /* the address of COM 1 */
#define THR 0x0000
#define RDR 0x0000
#define BRDL 0x0000
#define IER 0x0001
#define BRDH 0x0001
#define LCR 0x0003
#define MCR 0x0004
#define LSR 0x0005
#define MSR 0x0006
unsigned char rdat[60];
/* read 2 data from address 0200H of ASD with address 1 */
unsigned char tdat[60]={':', '0', '1', '0', '3', '0', '2', '0', '0', '0', '0', '2', 'F', '8', '\r', '\n'};

void main() {
int I;
outportb(PORT+MCR,0x08); /* interrupt enable */
outportb(PORT+IER,0x01); /* interrupt as data in */
outportb(PORT+LCR,( inportb(PORT+LCR) | 0x80 ) );
/* the BRDL/BRDH can be access as LCR.b7 == 1 */
outportb(PORT+BRDL,12);
outportb(PORT+BRDH,0x00);
outportb(PORT+LCR,0x06); /* set prorocol
<7,E,1> = 1AH, <7,O,1> = 0AH
<8,N,2> = 07H <8,E,1> = 1BH
<8,O,1> = 0BH
*/
for( I = 0; I<=16; I++ ) {
while( !(inportb(PORT+LSR) & 0x20) ); /* wait until THR empty */
outportb(PORT+THR,tdat[I]); /* send data to THR */
}
I = 0;
while( !kbhit() ) {
if( inportb(PORT+LSR)&0x01 ) { /* b0==1, read data ready */
rdat[I++] = inportb(PORT+RDR); /* read data from RDR */
}}}
}}
```

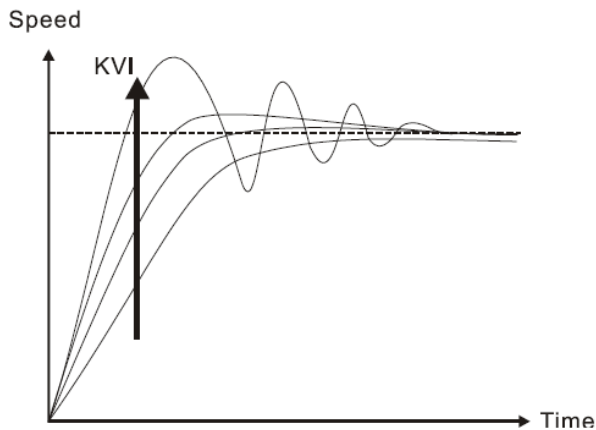
5.11. Software para controle ASDA- A2 e B2



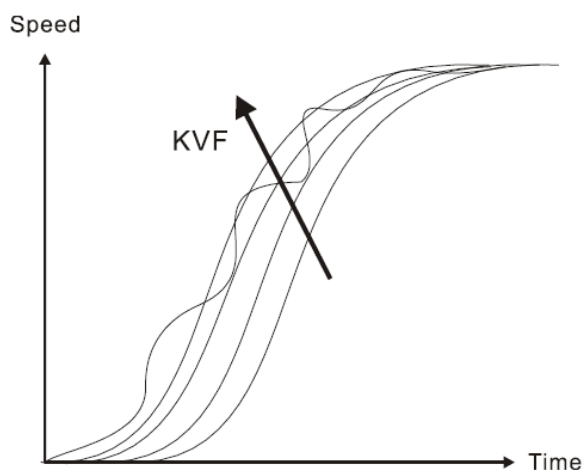
5.12. Domínio do tempo do servo drive



O maior valor de KVP causa uma maior largura de banda e encurtar o aumento do tempo. No entanto, se o valor é muito grande, a margem de fase Será muito pequena. Para erro de estado estacionário, o resultado não é bom quanto o KVI. Mas isso ajuda a reduzir à dinâmica de seguinte erro.



O maior valor de KVI causa maior frequência e baixo Ganho e uma diminuição do tempo o erro de estado estável volta a zero. No entanto, a margem da fase também diminui drasticamente. Para um erro de estado estacionário, sendo muito útil, mas não mostra nenhum benefício para o seguimento dinâmico de erro.



Se o valor KVF for fechado para (1), o avanço na compensação será mais completo e dinâmico o seguinte erro se tornará menor. No entanto, se o KVF O valor muito grande, isso causaria vibração.

6. Ambiente de trabalho

O laboratório que comporta o sistema MULCOM passou por uma reforma para poder, acomodar todos os equipamentos, assim podendo obter o máximo resultado possível, o que envolveu:

- Organização do laboratório;
- Compras de material e suprimentos;
- Identificação de equipamentos e ferramentas já existente (inventário);
- Reuniões de grupo para conhecer o projeto como um todo;
- Reconhecimento dos trabalhos relacionados à área de pesquisa e seus colaboradores;
- Leitura de artigos de referência.

7. Expectativas

O projeto de iniciação científica é mais abrangente que o proposto inicialmente para a disciplina F590, pois ha inúmeras aplicações na síntese de filmes finos, isto é, o mesmo terá continuidade ao termino deste projeto de I.C.Tendo em vista o potencial do projeto foi possível ingressar com a inscrição no programa PIBIC 2017/2018 sob a orientação do Prof. Dr. Fernando Alvarez.

8. Objetivos

Inicialmente os objetivos propostos para o período, será a finalização da montagem e testes de funcionamento, sendo realizado no mês de maio de 2017 os itens 1, 2 e 3. Os demais itens ficando para a seqüência:

- 1 Testes de Vácuo;
- 2 Geração de plasma no MULCOM;
- 3 Síntese de filmes finos;
- 4 Caracterização estrutural através da técnica de difração de raios-X;
- 5 Nanotest (ensaios sobre a dureza do material em escala nanométrica);
- 6 Espectroscopia de elétrons foto emitidos por raios-X (XPS) e difração de raios-x.

Sendo assim, foi necessário modificar o cronograma sugerido inicialmente no projeto de iniciação científica, porém cumprindo os prazos pré-estabelecidos o que pode ser visto na Figura 3.

9. Cronograma

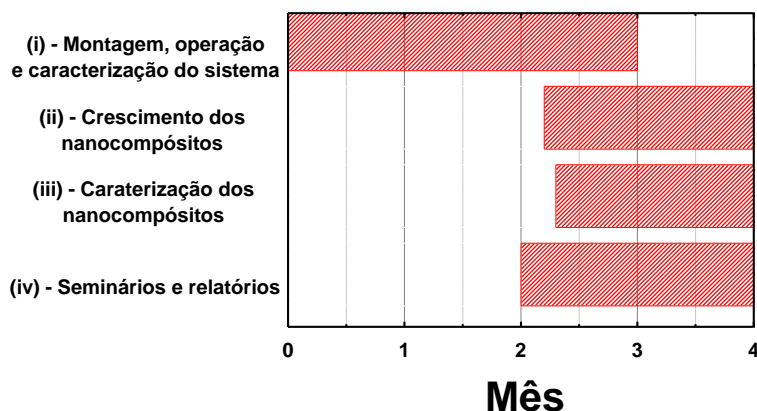


Figura 3 Cronograma de atividades referente ao período de 6 (seis) meses de vigência do projeto.

10. Conclusões

Até o presente momento, não foi possível aplicar os testes de vácuo, geração de plasma no MULCOM e a síntese de filmes finos. Pois o sistema de controle foi complexo de se entender e dominar o seu desenvolvimento para a finalidade que foi proposta, no entanto, já possuímos a capacidade de controlar com precisão o mesmo. O recuo no cronograma foi necessário para poder evitar perdas com operações erradas e comprometer o projeto como um todo, por se tratar de um sistema com grande potencial e inúmeras aplicações todo o cuidado em seu desenvolvimento e o comprometimento com o mesmo foram adotados. Como se pode verificar acima cada etapa teve sua peculiaridade, sendo a operação dos servos drives a mais envolvente e complexa, pois os mesmo possuem uma capacidade que permitira o MULCOM cumprir sua finalidade e ir além por possuir um versátil configuração que poderá no propiciar novos parâmetros durante o processo de síntese de filmes finos. Para o segundo semestre de 2017 o projeto continuará sendo desenvolvido para que atinja seu objetivo e nos permita estudar novas possibilidades de aplicações com o mesmo. Tudo isto respeitado os valores e princípios acadêmicos, bem como, social e ambiental, gerando novas tecnologias para o futuro.

11. Opinião do orientador

"Meu orientador concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião: O relatório reflete os trabalhos realizados pelo estudante no período. Ele teve um desempenho destacado, mostrando competência e dedicação, tanto na parte técnica como no entendimento dos objetivos do projeto. Para acrescentar o conhecimento dos aspectos físicos do projeto, o estudante dedicou parte de suas atividades no estudo dos trabalhos científicos que foram recomendados consultarem (referências 1 e 2). O próximo período do projeto,

Campinas, 2017.

esperasse que o sistema esteja comissionado para poder depositar amostras dos filmes finos de interesse. Pelas as razões salientadas considero o desempenho do estudante muito bom.”

O horário escolhido para o "Evento de Consulta À Comunidade-CàC" será dia 06 junho das 16 às 19 h (sendo 16-18 h o horário da primeira turma

12.Referências

[1] H. Gleiter, “Nanocrystalline Materials” Prog. Mater. Sci., vol. 33, pp. 223–315, 1989.

[2] J. Musil, “Physical and Mechanical Properties of Hard Nanocomposite Films Prepared by Reactive Magnetron Sputtering,” in Nanosctrutured Coatings, First Edit., vol. 193, no. 1–3, A. Cavaleiro and J. T. M. De Hosson, Eds. New York: Springer, 2006, pp. 407–463.

[3] https://pt.wikipedia.org/wiki/Deposi%C3%A7%C3%A3o_f%C3%ADsica_de_vapor

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Sputter_deposition