

Data: _____

Bancada n° _____

Nota: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

RA: _____

MÓDULO 2: TIRISTORES e RETIFICADORES CONTROLADOS

TCA 785 (ou TCA780)

Na figura 1 apresentam-se o diagrama de blocos do TCA 785 e seu diagrama de sinais, na figura 2. A alimentação interna do TCA 785 é feita por uma fonte interna estabilizada e que admite ampla variação da fonte externa. Esta tensão é acessível pelo pino 8.

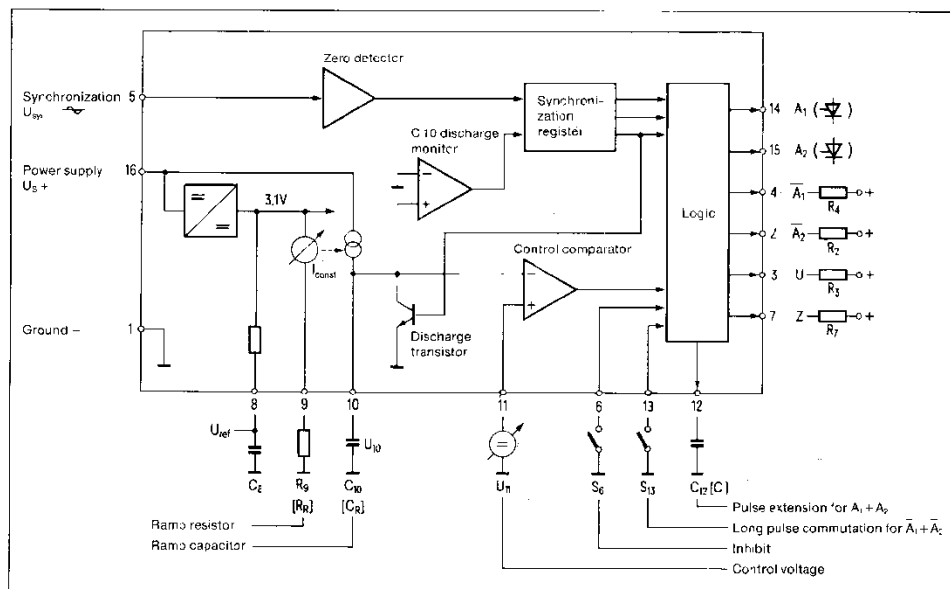


Fig. 1 Block diagram of integrated phase control TCA 780

O pino 1 é aterrado e ao pino 5 aplica-se a tensão de sincronismo (V). O sincronismo é obtido através de um detector de cruzamento por zero (do sinal CA), seguido por um registro de sincronismo.

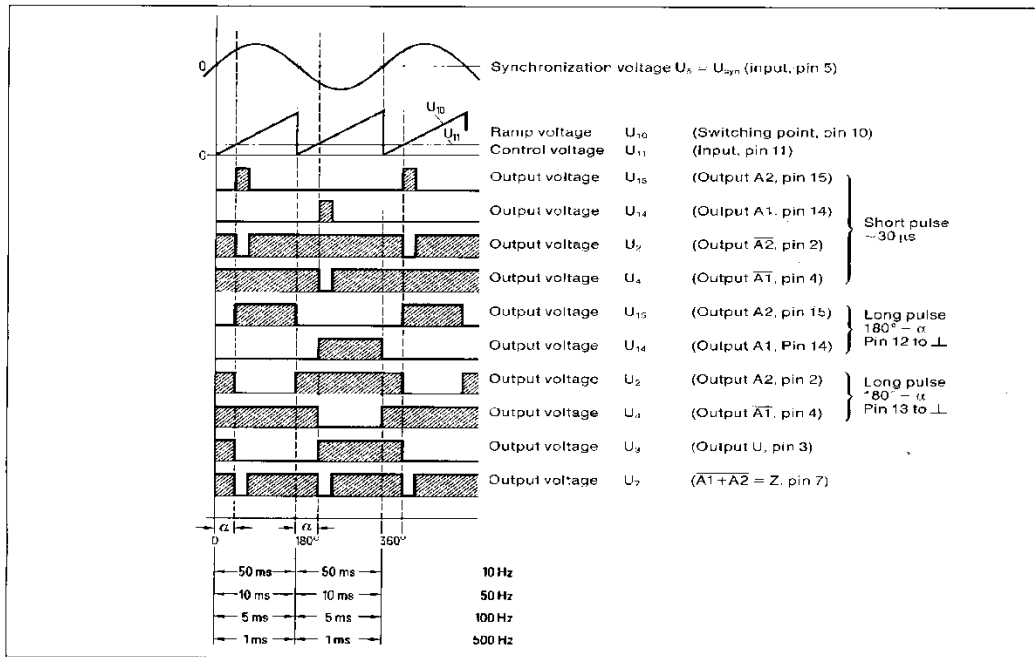
Um gerador de rampa é construído através de uma fonte de corrente (interna ao CI) que carrega um capacitor externo conectado ao pino 10. O valor da corrente pode ser controlado através de um resistor colocado no pino 9, determinando a inclinação da rampa.

Toda rampa se inicia quando ocorre um cruzamento por zero na tensão CA de alimentação e termina no próximo cruzamento, quando o registro de sincronismo aciona o transistor de descarga.

Uma tensão de controle é aplicada no pino 11 e seu valor é comparado com a rampa. Quando a rampa se torna maior, é gerado um pulso na saída A1 (pino 14) ou em A2 (pino 15), dependendo da polaridade do sinal CA de sincronismo. É possível ainda pulsos mais longos através da conexão de um capacitor ao pino 12 ou mesmo de sua ligação ao terra. A ligação do pino 13 ao terra também aumenta a extensão do pulso.

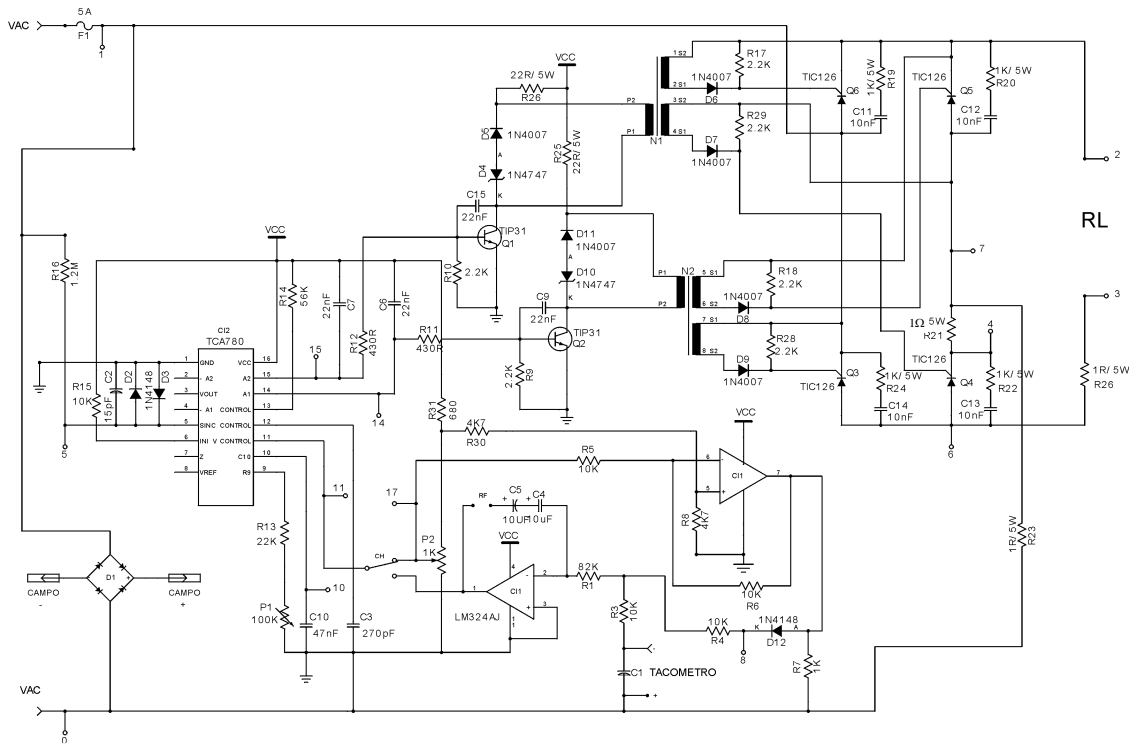
O pino 3 oferece uma saída síncrona com A1, mas com duração de 180 e no pino 7 tem-se um ou-exclusivo de A1 e A2. São disponíveis também saídas complementares de A1 e A2 (pinos 2 e 4, respectivamente). O pino 6, quando ligado ao terra, inibe a saída dos pulsos.

Fig. 2 Pulse level diagram of TCA 780



Parte Experimental 1: Material:

- Fonte CC com 2 saídas ajustáveis independentes (Minipa 3003)
- Transformador isolador (220 V x 110 V – 300 VA)
- Osciloscópio duplo traço (digital)
- Multímetro (RMS verdadeiro)
- Circuito de teste
- Lâmpada 25 W/127 V
- Contator trifásico



Circuito de teste.

Procedimentos iniciais

O circuito de teste deve ser alimentado através do transformador isolador (220V x 110V). O lado de 110 V alimenta o circuito, enquanto o lado de 220 V vai ligado à rede (em 127 V).

Para evitar acidentes, sempre que for alterar o ponto de teste ou algum componente, é conveniente desligar o contator. *Recorde-se que o osciloscópio só pode ter um ponto de referência para os 2 canais.*

1. TCA 785

Conecte as fontes CC (ajustada em 12 V) e CA (através do transformador) ao circuito de teste. A chave deve estar na posição MA (malha aberta). As próximas medidas devem ser feitas em **relação ao ponto 0**, que está ligado ao GND do TCA. Sem conectar a carga, verificar os sinais produzidos pelo TCA. **Ajuste o sincronismo do osciloscópio (trigger) para sincronizar-se com a rede (AC ou linha).**

- a) Observe o sinal de sincronismo (ponto 5), conjuntamente com a tensão de entrada (ponto 1). Analisando o diagrama esquemático, justifique a forma e a amplitude deste sinal.

- b) Observe a rampa (ponto 10), conjuntamente com a tensão de entrada (ponto 1). Verifique o sincronismo com a tensão da rede e **meça** as frequências de ambos os sinais.

Rede:

Rampa:

- c) Observe conjuntamente a rampa (ponto 10) com o sinal do ponto 11 (tensão de controle em malha aberta). Varie o **potenciômetro** e verifique os limites máximo e mínimo da tensão no **ponto 11**.

Valor mínimo: Valor máximo:

- d) Varie o **trimpot** e verifique a influência sobre a rampa. Ajuste uma tensão de pico da rampa que seja *menor* do que a máxima tensão de controle (ponto 11). A partir deste ponto o **trimpot** não deve ser alterado.

- e) Analisando o funcionamento do TCA780, **explique** como é gerada a rampa e a influência do *trimpot*.

- f) Pulsos de saída (pontos 14 e 15). Observe e analise o comportamento de cada uma destas saídas conjuntamente com a rampa (ponto 10). Varie o potenciômetro e veja a alteração no posicionamento do pulso de disparo (que

corresponde ao ângulo de disparo). Estes sinais, após amplificação por transistores (veja no esquemático), são aplicados aos transformadores de pulso, cujos secundários estão ligados entre *gate* e catodo dos tiristores. Meça a duração dos pulsos em seus intervalos positivos.

Ponto 14:

Ponto 15:

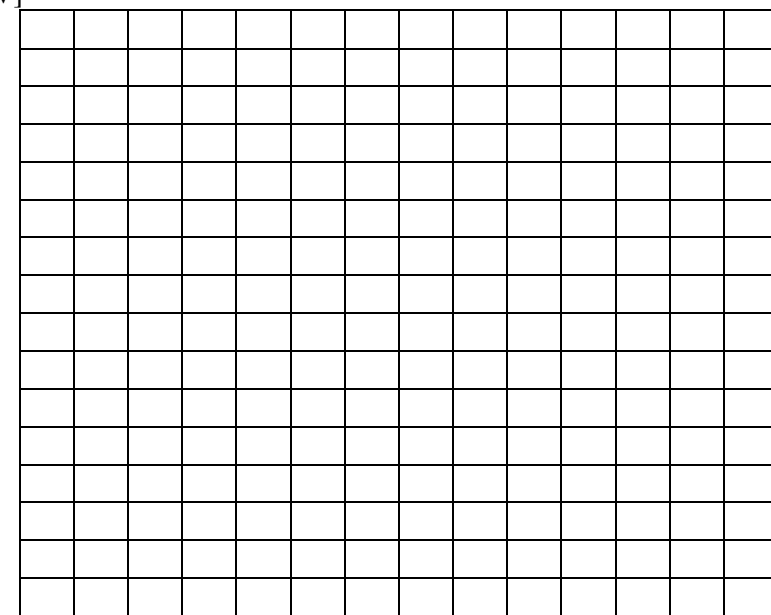
2. Medidas com carga resistiva

- a) Ajuste o potenciômetro para a máxima tensão no ponto 11 (máximo ângulo de disparo). Conecte a lâmpada nos terminais da carga. Observe simultaneamente os pontos 15 (pulso de disparo) e 7 (corrente de linha) em relação ao ponto 0. Varie a tensão de controle (potenciômetro). Explique a forma da corrente e comente.

- b) Estime a corrente de manutenção:

- c) No TCA785, a relação entre a tensão de controle e o ângulo de disparo é linear, uma vez que o sinal de comparação é uma rampa. Variando a tensão de controle (ponto 11) em intervalos de 0,5 V, e medindo a **tensão média** de saída (com uma das pontas de prova entre os pontos 2 e 3), trace a característica de transferência estática do conversor. Este resultado é válido quando a carga for resistiva. Use o **multímetro** para medir a tensão no ponto 11.

Tensão média de saída [V]



Tensão de controle [V]

- a) Explique por que a relação não é linear.

Data: _____

Bancada n° _____

Nota: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

RA: _____

MÓDULO 2: TIRISTORES e RETIFICADORES CONTROLADOS: Parte 2

TCA 785 (ou TCA780)

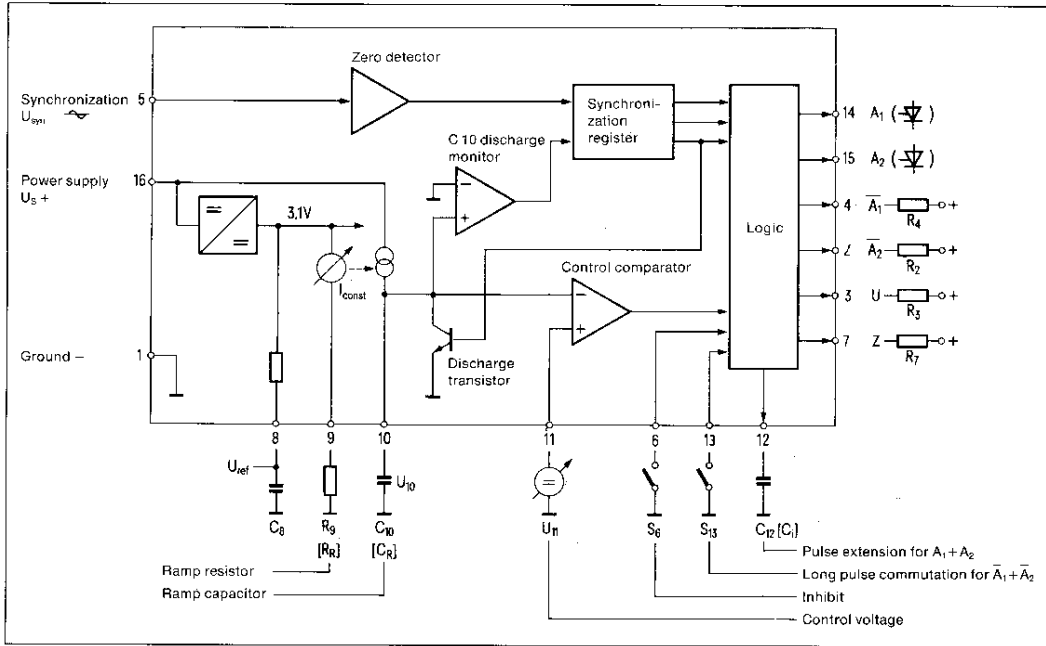
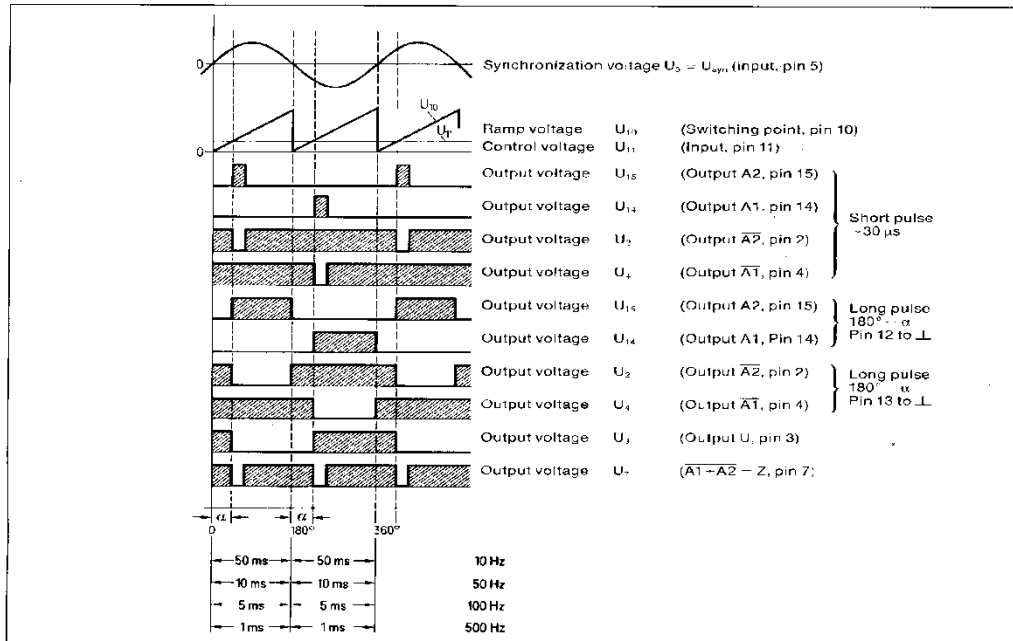


Fig. 1 Block diagram of integrated phase control TCA 780

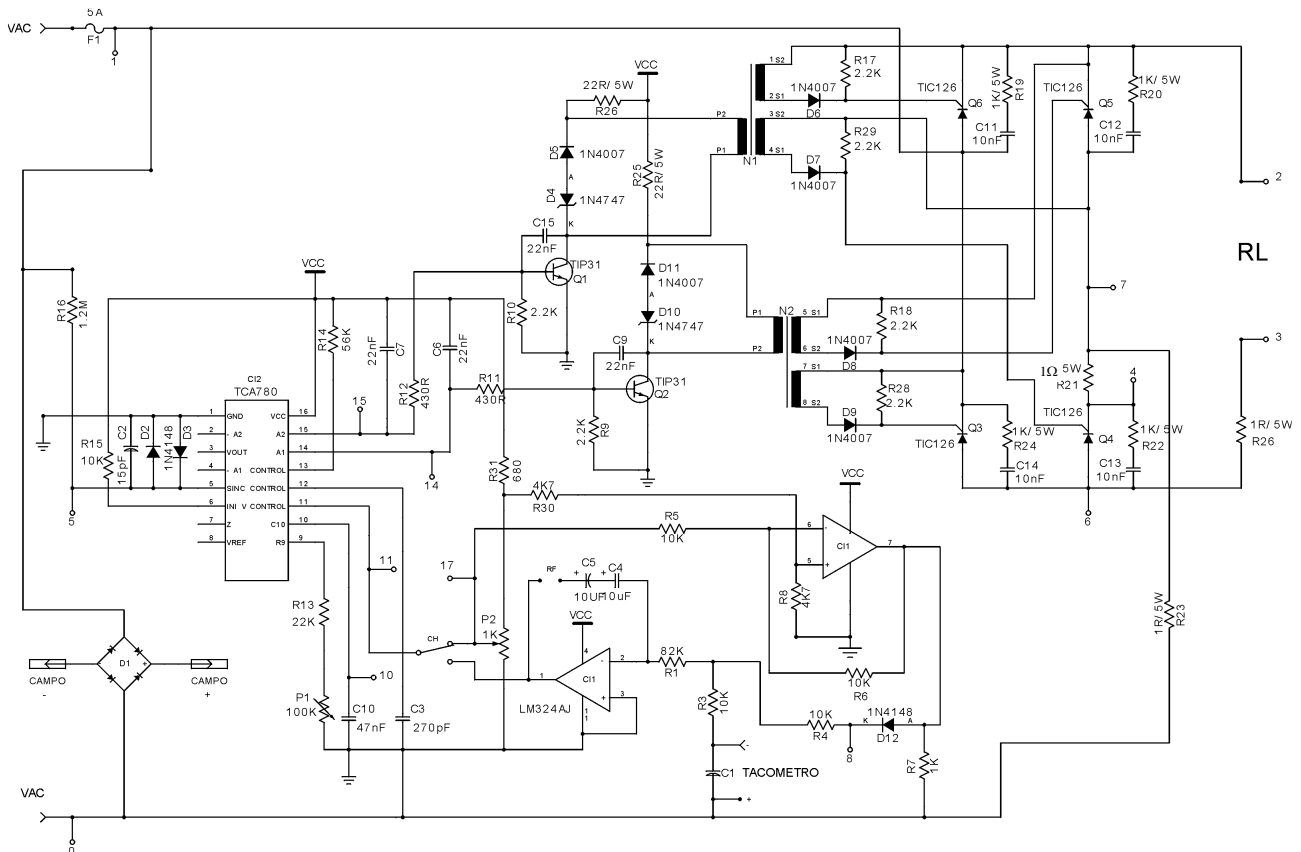
Fig. 2 Pulse level diagram of TCA 780



Procedimentos iniciais

O circuito de teste deve ser alimentado através do transformador isolador (220 V x 110 V). Deste modo é possível realizar medições com o osciloscópio, mesmo que este esteja aterrado. Uma vez que o motor CC utilizado é de 90 V, esse transformador é necessário para reduzir a tensão CA a um nível adequado. Para tanto, conecte a tensão fase-neutro (127 V) no lado de 220 V. O circuito será conectado no lado de 110 V. Isto fará com que a tensão CA na entrada do retificador apresente aproximadamente 90 V de pico.

Para evitar acidentes, sempre que for alterar o ponto de teste ou algum componente, é conveniente desligar o contator. *Recorde-se que o osciloscópio só pode ter um ponto de referência para os 2 canais.*



Circuito de teste.

Material:

- Fonte CC com 2 saídas ajustáveis independentes (Minipa 3003)
- Transformador isolador (220V x 110V – 300VA)
- Osciloscópio duplo traço (digital), com pontas x10.
- Multímetro (RMS verdadeiro)
- Bancada de motores com motor CC e motor CA
- Circuito de teste
- Tacômetro
- Contator trifásico

Parte Experimental 2:**1. Carga RLE (motor de corrente contínua): operação em Malha Aberta (MA)**

a) Conecte os terminais de armadura do motor CC na saída do retificador controlado disponível no painel da placa de testes. O enrolamento de campo nos respectivos bornes, os quais estão ligados a um retificador a diodos monofásico, como se vê no esquemático.

b) O motor CA (indução trifásico), acoplado ao mesmo eixo do motor CC, será usado como um freio eletromagnético para o motor CC. Conecte os terminais do *motor CA* à outra saída da *fonte CC*. Eleve a tensão e limite a corrente de modo que circule 1,3 A (a fonte faz esta medição automaticamente e indica no *display*). Reduza a tensão mantendo o limite de corrente ajustado. **Quando for necessário frear o motor, este é o ajuste que deve ser aplicado, elevando rapidamente a tensão até que a fonte limite a corrente.**

c) Ligue o tacômetro e conecte a saída de realimentação à placa de testes. O esquema do tacômetro está mostrado no final do roteiro. O valor indicado se refere a **dezenas** de rpm. A medição da velocidade de rotação se baseia na contagem de pulsos luminosos captados através do disco perfurado montado no eixo dos motores.

d) Verifique se o fator de escala das pontas de prova estão devidamente ajustados no osciloscópio.

e) Com o osciloscópio observe simultaneamente os pontos 2 e 3, coloque a referência dos canais do osciloscópio no ponto 6. Isso permite observar a **tensão** (ponto 2) e a **corrente** (ponto 3) **na carga**, ou seja, a tensão aplicada à armadura do motor CC e a respectiva corrente.

f) Determine os ângulos de disparo (início de condução dos tiristores) para as velocidades de 400, 1200 e 2400 rpm (ou a máxima velocidade estável que conseguir ajustar). O ângulo de disparo é medido em relação ao **cruzamento por zero da tensão** alternada. Identifique esse ponto na forma de onda.

Ângulo de disparo:

em 400 rpm, em 1200 rpm e em 2400 rpm

g) Analisando as formas de onda **no intervalo em que a corrente permanece em zero**, estime o valor médio da tensão observada nos terminais do motor em 1200 rpm e em 2400 rpm. Use a função de aquisição média.

Em 1200 rpm: Em 2400 rpm:

h) No intervalo em que a corrente da carga permanece em zero, qual a origem da tensão observada nos terminais da carga?

i) Diminua o ângulo de disparo, aumentando a velocidade do motor, até que comecem as falhas de acionamento. **Explique** a causa da falha de disparo dos tiristores.

j) Ajuste a velocidade em aproximadamente 1800 rpm e meça os valores médios da tensão e da corrente aplicadas à carga. Use a escala horizontal de 5 ms/div. e use a média de tela inteira.

Tensão média Corrente média

k) Ligue a alimentação do freio (motor CA) de modo que a velocidade caia para aproximadamente 1000 rpm (entre 800 e 1200 rpm). Observe e comente qualitativamente (aumenta, diminui, se mantém) e quantitativamente as alterações no ângulo de disparo, na tensão e na corrente média na carga, e na velocidade do motor CC. **Atenção**, se o motor CC parar após a aplicação do freio, desligue rapidamente e refaça o experimento com corrente de freio menor para que a velocidade se reduza para aproximadamente 1000 rpm.¹

Tensão média Corrente média Velocidade

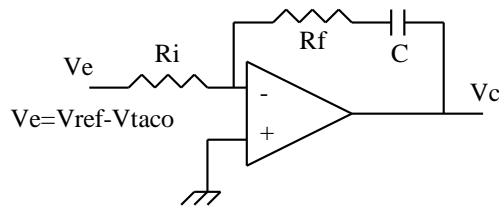
l) Altere o potenciômetro até obter a parada do motor. Desligue o contator.

2. Carga RLE (motor CC): operação em Malha Fechada (MF)

Na operação em MF, a tensão de controle não vem mais diretamente do potenciômetro, mas sim da saída do controlador. O potenciômetro passa a atuar como definidor do sinal de referência. Por exemplo, um valor de 2 V indica uma velocidade de 2000 rpm.

O compensador da malha de controle da velocidade é do tipo PI, como mostra o esquemático. A função de transferência do compensador é:

¹ A parada total do motor leva a uma corrente de armadura excessiva, que pode danificar o circuito. O valor do torque frenante a ser aplicado depende de características dos próprios motores e da montagem mecânica, sendo difícil prever o valor a ser aplicado.



$$H_c(s) = \frac{R_f}{R_i} + \frac{1}{s \cdot C \cdot R_i}$$

Compensador PI

a) Conecte a saída analógica do tacômetro à placa de testes, obedecendo à convenção de cores dos bornes. Com as referências das pontas de prova no ponto 0, ajuste o potenciômetro para que a tensão que determina a referência de velocidade (ponto 8, que é acessível em um pino próximo ao CI, no meio da placa) seja aproximadamente zero. Verifique na placa se o resistor R_f é de 220 k Ω , montado nos pinos disponíveis junto ao CI do amplificador operacional. Passe a chave para a posição de malha fechada (MF). Ligue o contator. **Poderá haver um transitório devido à condição inicial de tensão no capacitor do compensador.**

b) Observe simultaneamente os sinais nos pontos 8 (referência de velocidade, que deve ter um valor positivo) e no tacômetro (no ponto indicado como -, que é um valor negativo). Ajuste a referência até a velocidade estabilizar em aproximadamente 1800 rpm.

c) Sem alterar a referência (potenciômetro), observe os sinais do tacômetro e o sinal de saída do controlador (ponto 11) que determina o ângulo de disparo. Ligue a fonte CC do freio (ajustada previamente). Observe a resposta do sistema (velocidade e tensão de controle) a este degrau de carga. Meça os valores do sinal de saída do compensador (ponto 11) antes e após a frenagem.

Antes da frenagem:

Após a frenagem:

d) Desligue o contator. Retorne o osciloscópio aos pontos 2 e 3, com a referência dos canais no ponto 6. Isso permite observar a **tensão** (ponto 2) e a **corrente** (ponto 3) **na carga**, ou seja, a tensão aplicada à armadura do motor CC e a respectiva corrente. Repita o ensaio de frenagem do item anterior e meça os valores médios da tensão e da corrente antes e após o transitório.

Tensão média inicial final

Corrente média inicial final

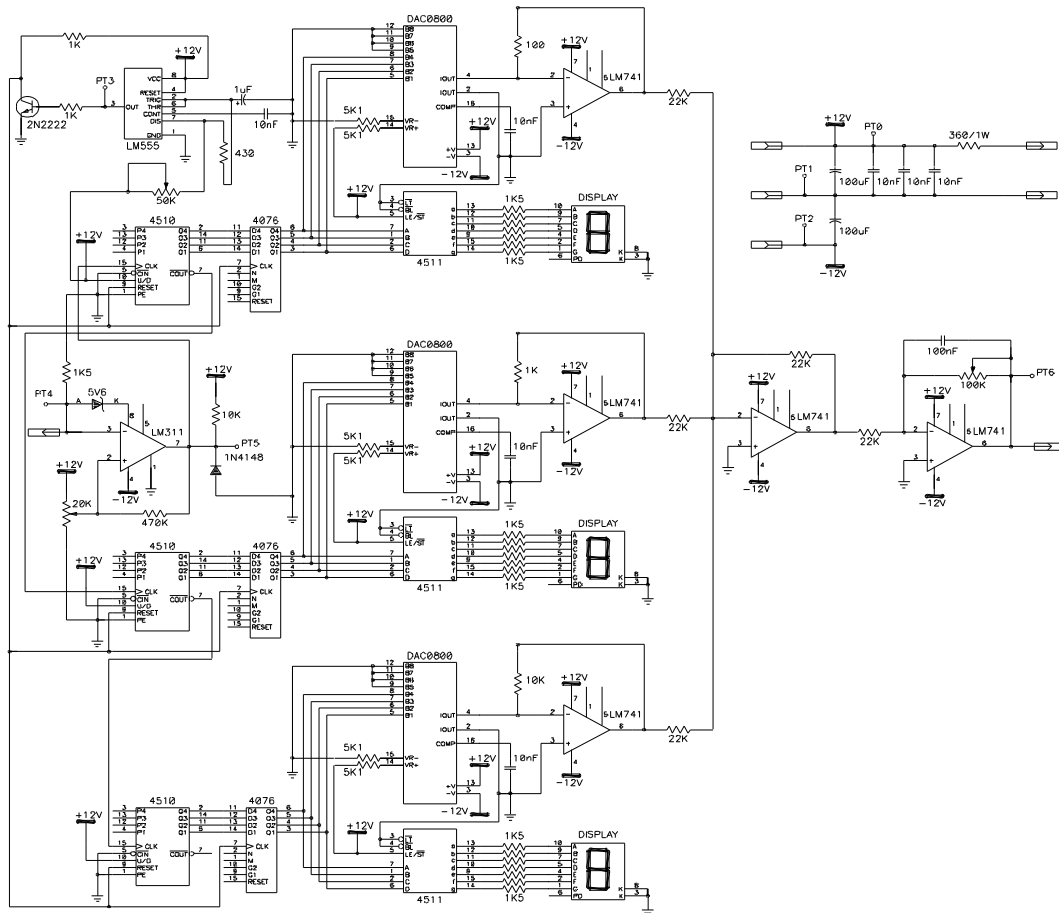
e) A partir das medições dos itens anteriores, analise qualitativamente e quantitativamente o comportamento do sistema em malha fechada.

Circuito do tacômetro - informativo

O circuito utilizado no tacômetro é bastante simples, e não apresenta maiores preocupações com precisão absoluta, no entanto, presta-se bastante bem aos objetivos desta experiência.

O sensor de velocidade é composto por um disco metálico com 60 furos. A detecção é feita por meio de um acoplador ótico, o qual envia o sinal para a placa do tacômetro. Este sinal passa por um comparador, a fim de fornecer, à sua saída, pulsos retangulares e uniformes.

Os pulsos são contados por três contadores (de 0 a 9). A cada intervalo de 100 ms (estabelecido por um oscilador) faz-se uma leitura. Os valores lidos são armazenados por três "latches". Nas saídas dos "latches" estão conectados decodificadores para "display" de sete segmentos e conversores digital-analógico (CDA). Nas saídas dos CDAs têm-se amplificadores operacionais que fazem as somas e ponderações necessárias para a obtenção da saída analógica, usadas para a realimentação. Nos "displays" tem-se uma indicação da velocidade em *dezenas de rpm*.



Circuito do tacômetro.

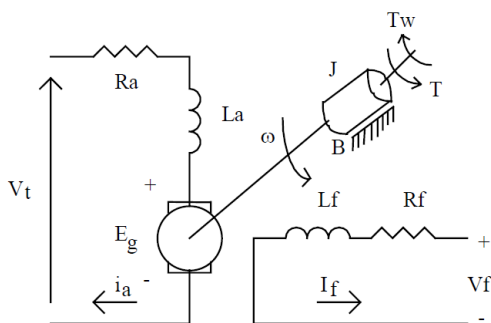


Figura 4.1 Circuito elétrico de MCC

$$E_g = K_v \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{V_t - R_a \cdot I_a}{K \cdot \Phi}$$

$$T = K_t \cdot \Phi \cdot i_a$$

Onde:

E_g : força contra-eleto-motriz de armadura

K : constante determinada por características construtivas da MCC (normalmente $K=K_v=K_t$)

Φ : fluxo de entreferro

ω : velocidade angular da máquina

i_a : corrente de armadura

J : momento de inércia incluindo a carga mecânica.

T : torque

B : atrito