

Capítulo VI

Resultados de Simulação e Experimentais

6.1 – INTRODUÇÃO

A fim de verificar de forma experimental o funcionamento do reator eletrônico proposto, foi feita uma comparação entre valores simulados e experimentais de dois protótipos. Um reator com o conversor Buck e outro com o conversor Buck+Boost.

Também foi feita uma comparação entre estes reatores eletrônicos e os convencionais (eletromagnéticos).

Os resultados experimentais foram obtidos com os reatores eletrônicos acionando lâmpadas de 70W, 150W e 250W tanto à vapor de sódio quanto à vapor metálico.

Para melhor organizar este capítulo, foi feita uma apresentação por potência das lâmpadas e suas etapas de operação:

- Etapa 1- Ignição;
- Etapa 2 – Aquecimento e,
- Etapa 3 – regime Permanente.

6.2 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SIMULADOS DO REATOR ELETRÔNICO UTILIZANDO O CONVERSOR BUCK PARA LÂMPADAS DE 70W, 150W e 250W.

6.2.1 – PARA LÂMPADAS DE 70W

6.2.1.1 - ETAPA DE IGNIÇÃO.

A figura 6.1 mostra os pulsos de sobretensão gerados para a ignição. Esta aquisição foi obtida sem que a lâmpada estivesse no circuito, caso contrário, poderia estabelecer o arco e os pulsos cessariam.

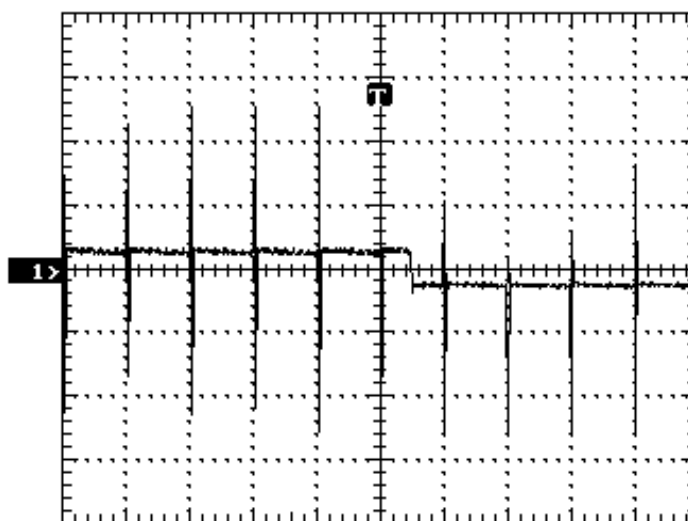


Figura 6.1-Pulsos de sobretensão gerados pelo reator eletrônico(1000V/div,2ms/div).

Pela dificuldade de simular a dinâmica da lâmpada durante a ionização do gás na etapa de ignição, nesta etapa serão mostrados apenas os resultados experimentais.

A figura 6.2 mostra a tensão e a corrente após uma ignição bem sucedida de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. Pode-se observar o pulso de tensão, a mudança de frequência (30-150Hz) do circuito inversor e também a etapa de “soft start”.

Na etapa de “soft start” a corrente na lâmpada cresce em intervalos de tempo constantes até atingir o valor de 1,5 o valor nominal. Isto é feito para que a partida seja suave garantindo estabilidade do arco.

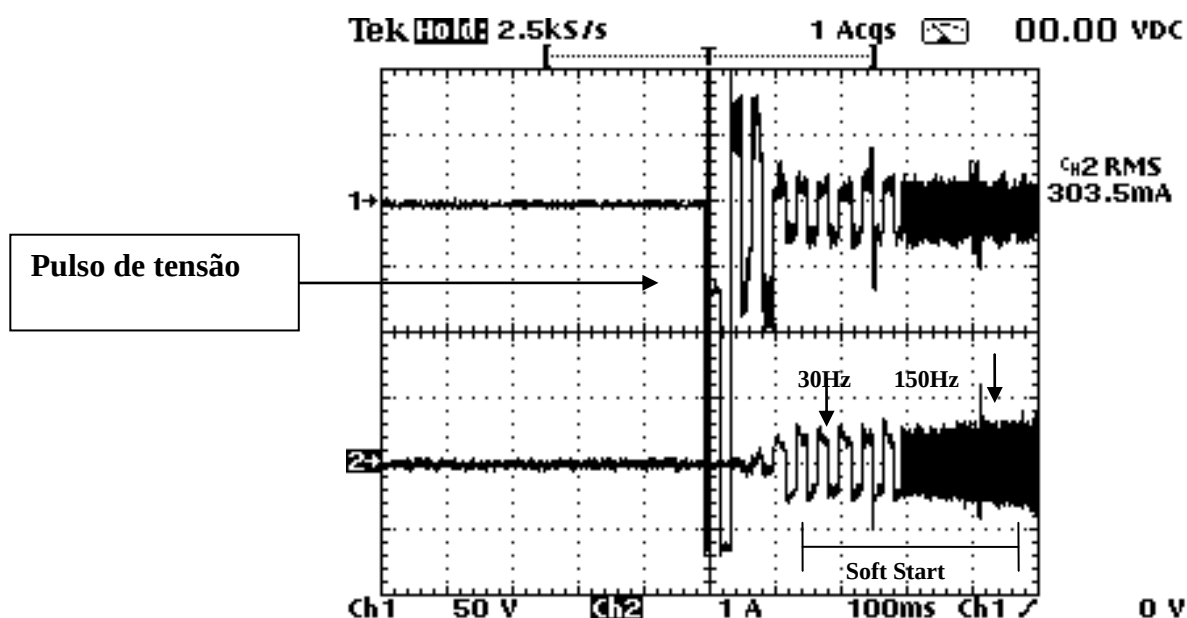


Figura 6.2-Etapa ignição: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio 70w durante uma ignição. (50V/div; 1A/div; 100ms/div).

A figura 6.3 mostra uma ignição bem sucedida de uma lâmpada de 70W à vapores metálicos. Pode-se observar todo o processo de ignição desde o pulso de alta tensão, etapa de “soft start” e corrente constante em 1,2 A. Nesta figura observa-se também a tensão que se inicia com um valor baixo.

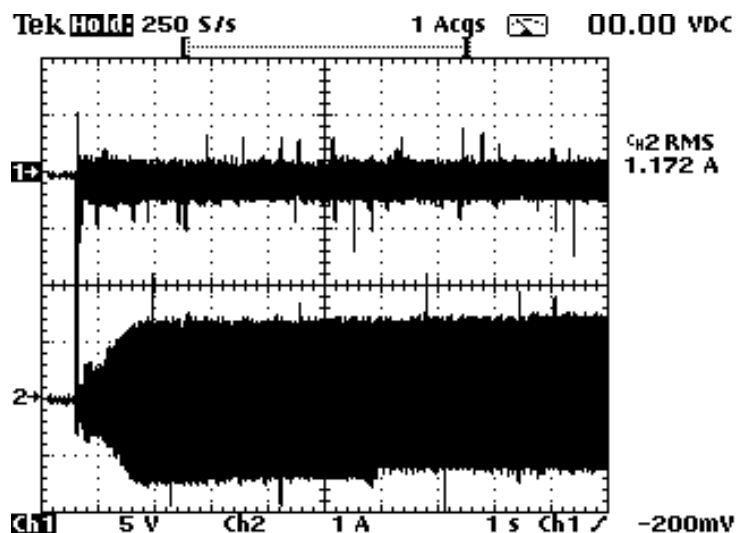


Figura 6.3-Etapa ignição: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 70W após uma ignição bem sucedida. (50V/div; 1A/div; 100ms/div).

6.2.1.2 – ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME PERMANENTE

A figura 6.4 mostra a simulação no “software” “MATLAB” do controle digital implementado no dispositivo FPGA. As formas de onda da corrente e tensão na lâmpada de 70W são mostradas desde a etapa de aquecimento até o regime permanente. Foi considerada uma resistência fixa para simular a lâmpada como uma carga resistiva.

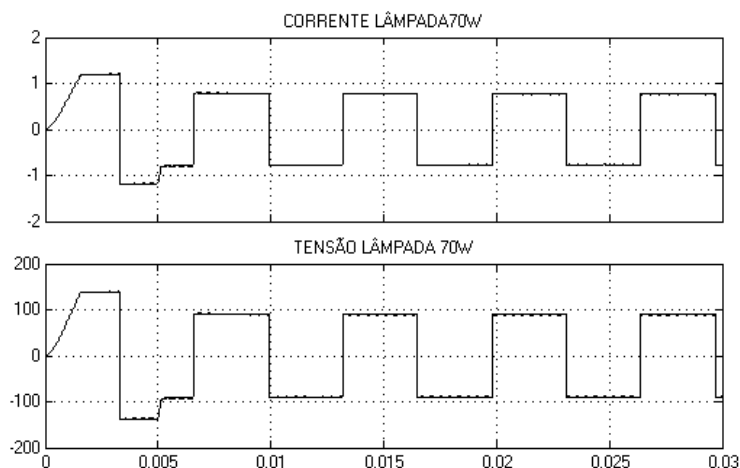


Figura 6.4-Simulação das Etapas de Aquecimento e Regime Permanente para Lâmpada de 70W.
Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (1A/div; 100V/div 5ms/div).

Nestas etapas pode ser visto que o controle digital conseguiu impor uma corrente constante tanto na simulação quanto experimentalmente. A resposta a um degrau de carga na simulação teve um comportamento estável tanto na partida como na transição de carga. Isto pode ser comprovado através da dimerização (diminuição de fluxo luminoso com diminuição da potência), figuras 6.5 e 6.6.

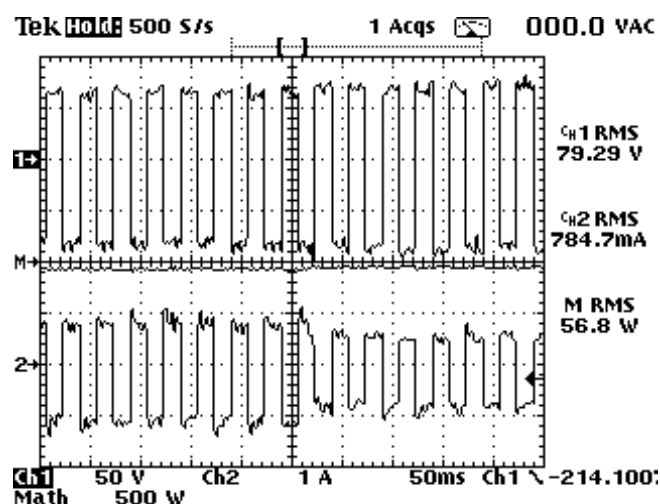


Figura 6.5 –Resultado Experimental, Dimerização: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio 70W. 50V/div; 1A/div; 50ms/div).

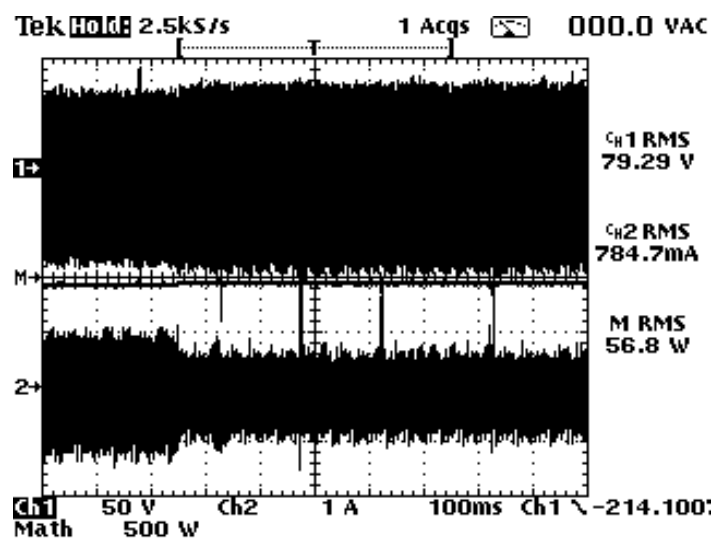


Figura 6.6 –Resultado Experimental, Dimerização: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. 50V/div; 1A/div; 50ms/div).

Em regime permanente o reator manteve a potência das lâmpadas à vapores metálicos e à vapor de sódio constante, como pode ser visto nas figuras 6.7 e 6.8 respectivamente. Estas formas de onda também estão de acordo com os valores simulados.

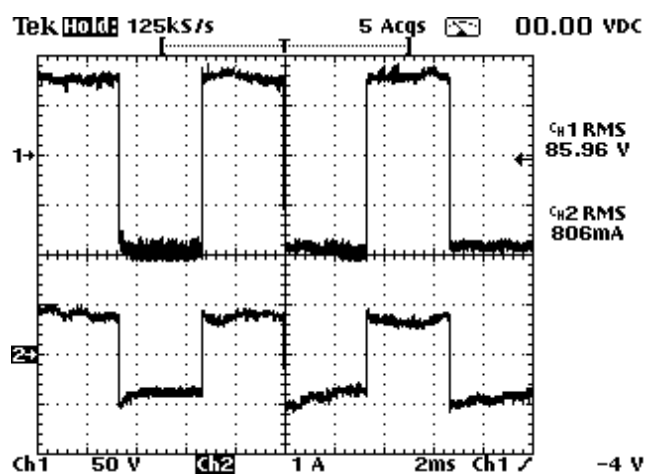


Figura 6.7 – Etapa 3 (Potência Constante): Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor metálico de 70W. (50V/div; 1A/div; 500ms/div).

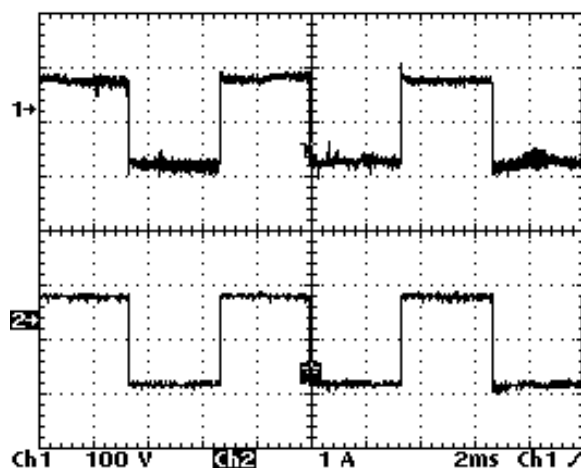


Figura 6.8 – Etapa 3 (Potência Constante): Tensão (superior) e Corrente(inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W(100V/div; 1A/div; 500ms/div

6.2.1.3– COMPARAÇÃO ENTRE ACIONAMENTO POR REATOR ELETROMAGNÉTICO E REATOR ELETRÔNICO

A evolução das grandezas: tensão, corrente e potência de uma lâmpada de 70W à vapor de sódio, acionada por um reator eletromagnético, é mostrada na figura 6.9.

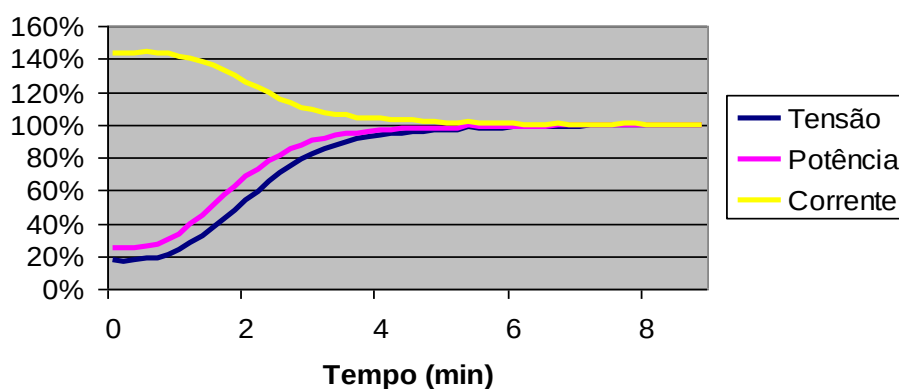


Figura 6.9 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W, acionada por reator eletromagnético.

Pode-se observar o comportamento da lâmpada desde a etapa de aquecimento até a estabilização. Neste acionamento, a corrente não é mantida constante e a potência é atingida em 5 minutos.

Na figura 6.10, a corrente é mantida constante em 1,2A durante a etapa de aquecimento pelo reator eletrônico. Observa-se que a potência nominal é atingida em 2,5 minutos.

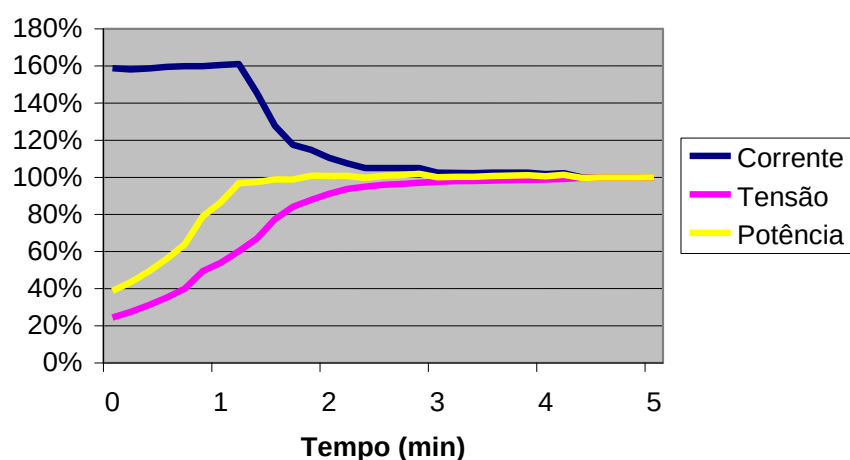


Figura 6.10 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W, acionada por reator eletrônico.

Portanto, o reator eletrônico consegue diminuir em 50% o tempo que a lâmpada leva para alcançar o brilho máximo. As figuras 6.11 e 6.12 mostram o comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor metálico acionada por um reator eletromagnético e um eletrônico respectivamente.

A figura 6.12 mostra a utilização da etapa de “soft start” nos primeiros 0,5 segundos, onde a lâmpada parte com referência de corrente crescente para que pudesse partir.

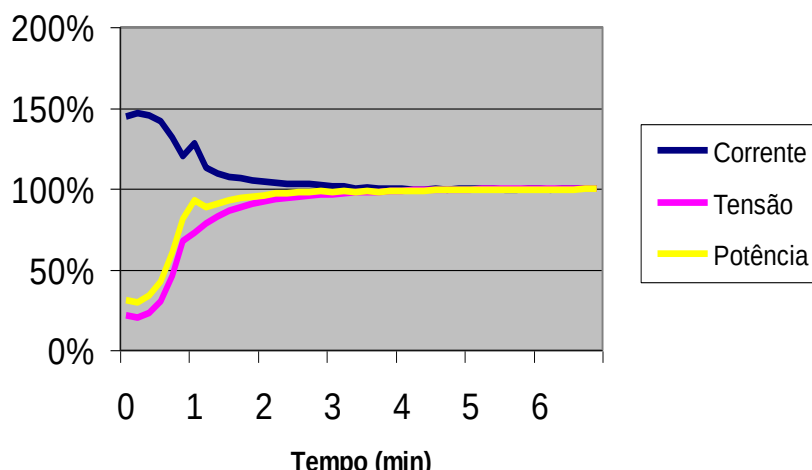


Figura 6.11 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W, acionada por reator eletromagnético.

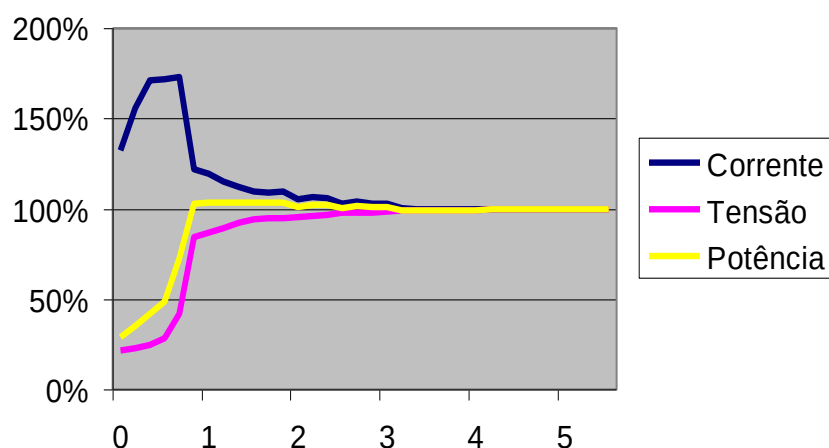


Figura 6.12 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor metálica de 70W, acionada por reator eletrônico.

O reator magnético utilizado foi da marca “INTRAL-220V-60Hz-0,98”.

6.2.2 – PARA LÂMPADAS DE 150W

6.2.2.1 - ETAPA DE IGNIÇÃO.

A figura 6.13 mostra a tensão e a corrente após uma ignição bem sucedida de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. Pode-se observar o pulso de tensão e a mudança de frequência (30-150Hz) do circuito inversor logo após a ionização do gás.

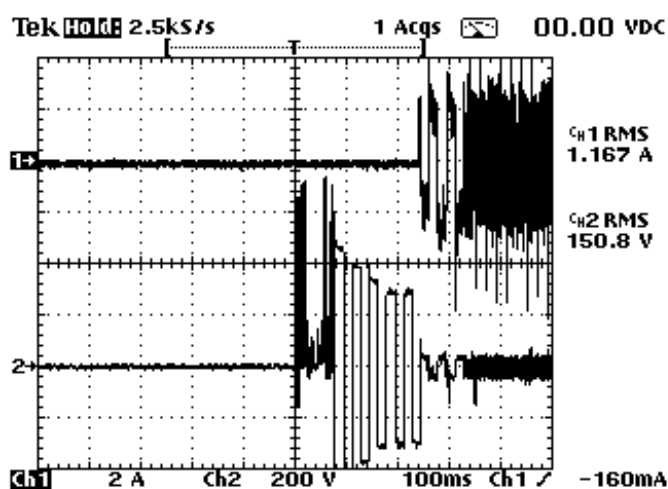


Figura 6.13-Etapa ignição: Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 150W após uma ignição bem sucedida. (200V/div; 2A/div; 100ms/div).

6.2.2.2 - ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME PERMANENTE.

A figura 6.14 mostra a simulação do reator com controle digital. A simulação foi feita para as etapas de aquecimento e regime permanente.

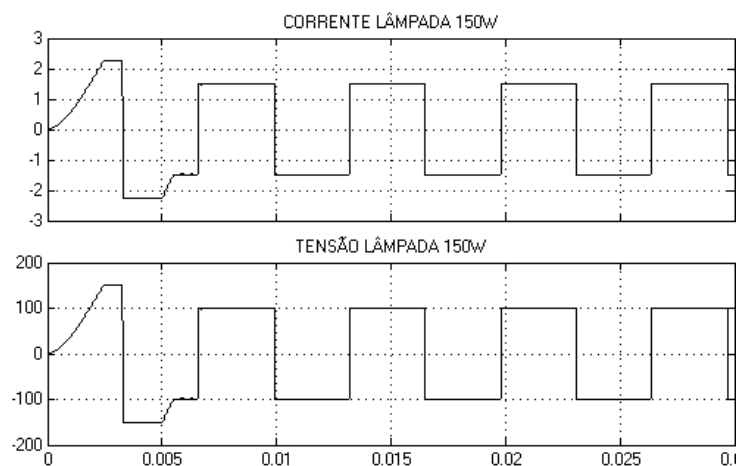


Figura 6.14-Simulação das Etapas de Aquecimento e Regime Permanente para Lâmpada de 150W.Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (1A/div; 100V/div 5ms/div)

Pode-se perceber que apesar da potência ter sido dobrada, o controle conseguiu impor corrente constante de 1,5 vezes a nominal na etapa de aquecimento. Também

observando o degrau de carga verifica-se uma transição comportada comprovada pela figura 6.15 através da dimerização.

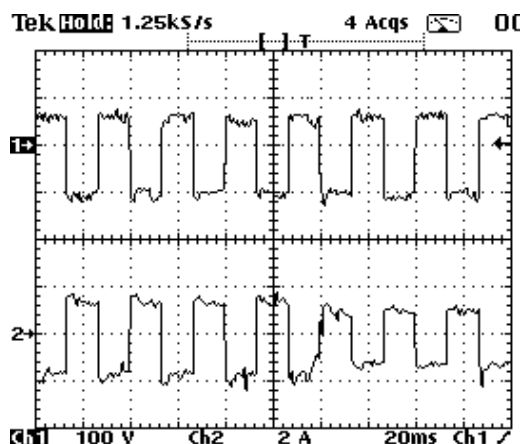


Figura 6.15 –Resultado Experimental, Dimerização: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio 150W à vapor metálico. 100V/div; 2A/div; 20ms/div).

Em regime permanente as formas de onda também estão de acordo com os valores simulados, o reator manteve a potência das lâmpadas à vapores metálicos e à vapor de sódio constante, como pode ser visto nas figuras 6.15 e 6.16 respectivamente.

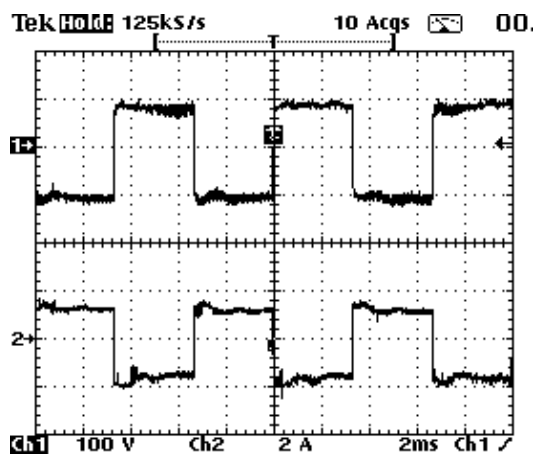


Figura 6.15 – Etapa 3 (Potência Constante): Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor metálico de 150W. (50V/div; 2A/div; 2ms/div).

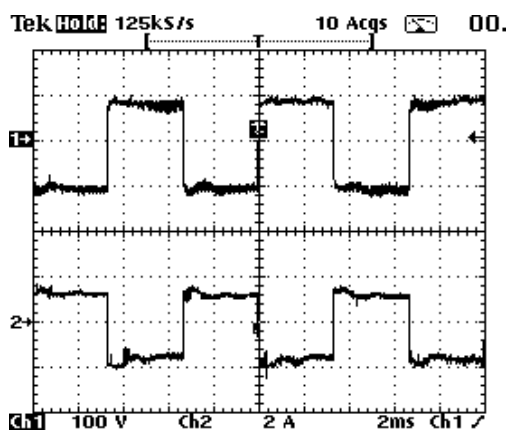


Figura 6.16 – Etapa 3 (Potência Constante): Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. (50V/div; 21A/div; 2ms/div).

6.2.2.3 - COMPARAÇÃO ENTRE ACIONAMENTO POR REATOR ELETROMAGNÉTICO E REATOR ELETRÔNICO

As grandezas: Tensão, Corrente e potência de uma lâmpada de 150W à vapor de sódio, acionada por um reator eletromagnético, são mostradas na figura 6.17.

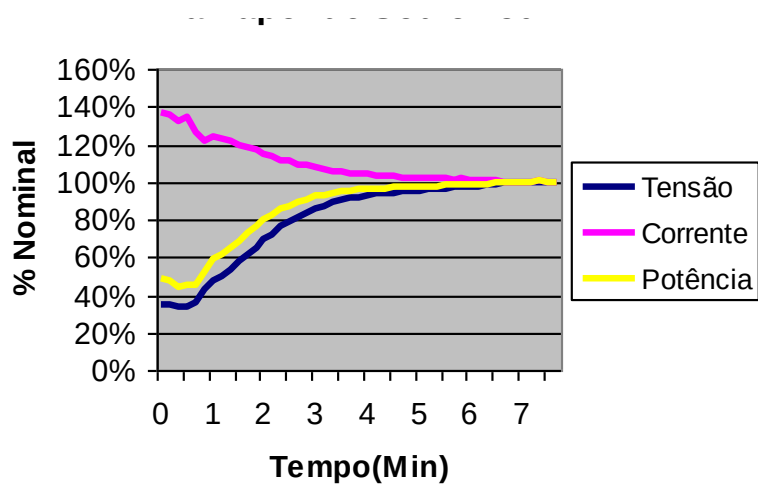


Figura 6.17 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W, acionada por reator eletromagnético.

Neste acionamento, a corrente não é mantida constante e a potência nominal é atingida em 5 minutos. Pode-se observar que comportamento da lâmpada desde a etapa de aquecimento até a estabilização é semelhante à de 70W.

Observa-se na figura 6.18 que a potência nominal é atingida em aproximadamente 2,5 minutos e a corrente é mantida constante em 2,25A durante a etapa de aquecimento pelo reator eletrônico.

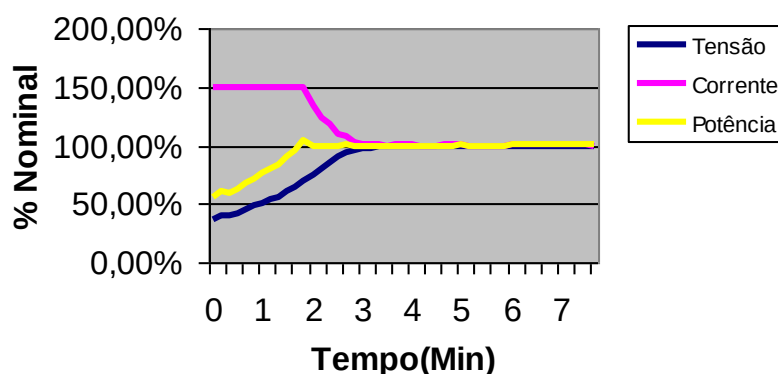


Figura 6.18 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W, acionada por reator eletrônico.

Nas figuras 6.19 e 6.20 é mostrado o comportamento das características da lâmpada à vapores metálicos, nos reatores convencional e eletrônico respectivamente. Esta lâmpada entra em regime permanente mais rápido que a de vapor de sódio, mesmo assim o controle digital consegue atender essas características em um tempo menor, isto é 2,5 min no convencional e 1,5min no eletrônico.

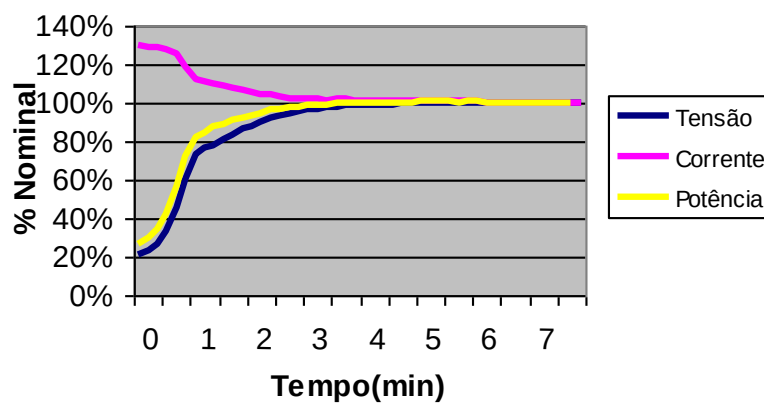


Figura 6.19 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapores metálicos de 150W, acionada por reator eletromagnético.

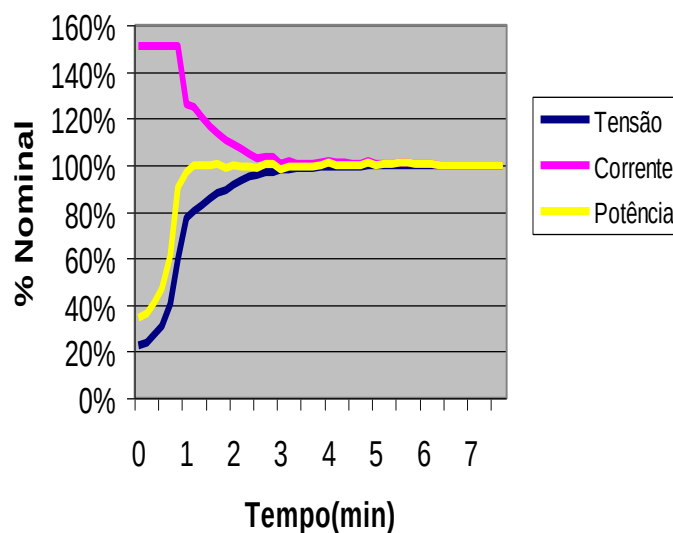


Figura 6.20 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W, acionada por reator eletromagnético.

6.2.3 – PARA LÂMPADAS DE 250W

6.2.3.1 - ETAPA DE IGNIÇÃO.

Após uma ignição bem sucedida o controle impõe corrente constante em 1,5 vezes a nominal. Isto pode ser visto na figura 6.21, assim como a mudança de

freqüência do circuito inversor. Este processo também é parecido com a ignição das lâmpadas de 70W e 150W.

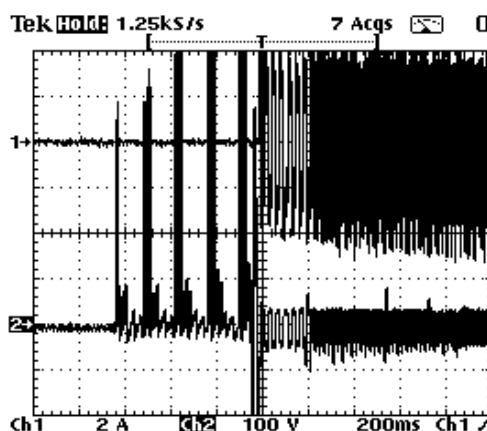


Figura 6.21-Etapa ignição: Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 250W após uma ignição bem sucedida. (100V/div; 2A/div; 200ms/div).

6.2.3.2 - ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME

PERMANENTE.

A simulação deste reator nas etapas de aquecimento e regime permanente é mostrada na figura 6.22. Neste caso, o controle digital também consegue impor corrente constante na etapa de aquecimento e manter a potência constante no regime permanente.

Quando é submetido à um degrau de carga uma transição suave ocorre. O mesmo comportamento pode ser visto na partida.

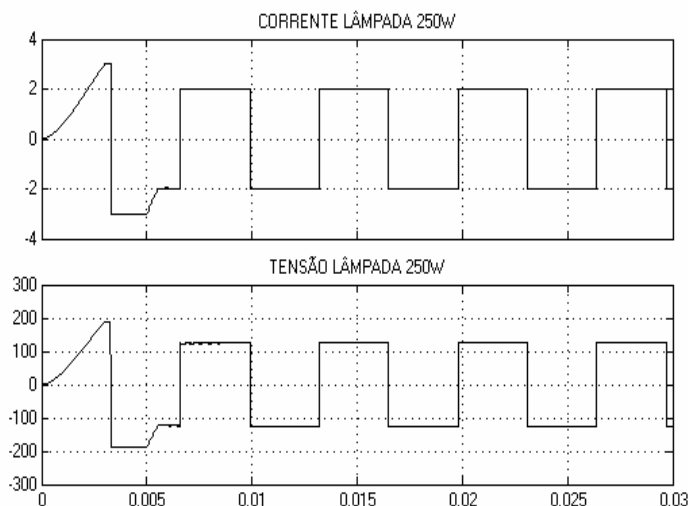


Figura 6.22-Simulação das Etapas de Aquecimento e Regime Permanente para Lâmpada de 250W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (1A/div; 100V/div 5ms/div)

Através da dimerização (diminuição de fluxo luminoso com diminuição da potência), figura 6.23 verifica-se o mesmo comportamento.

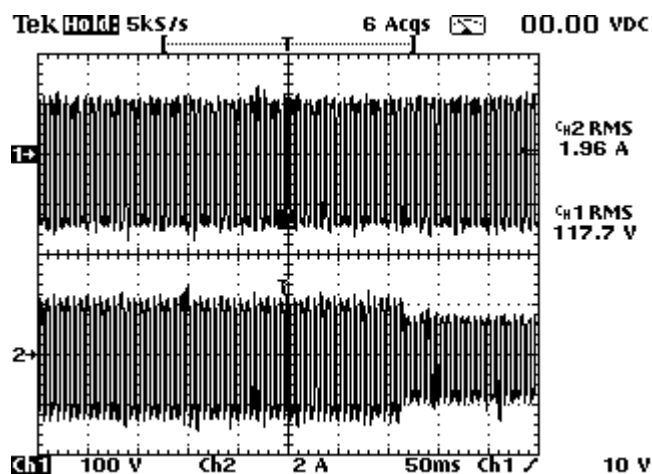


Figura 6.23 –Resultado Experimental, Dimerização: Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio 250W. 100V/div; 2A/div; 50ms/div).

Na figura 6.24 é mostrado as formas de onda de tensão e corrente na lâmpada à vapor de sódio na potência 250W. Estas formas de onda estão de acordo com os valores simulados.

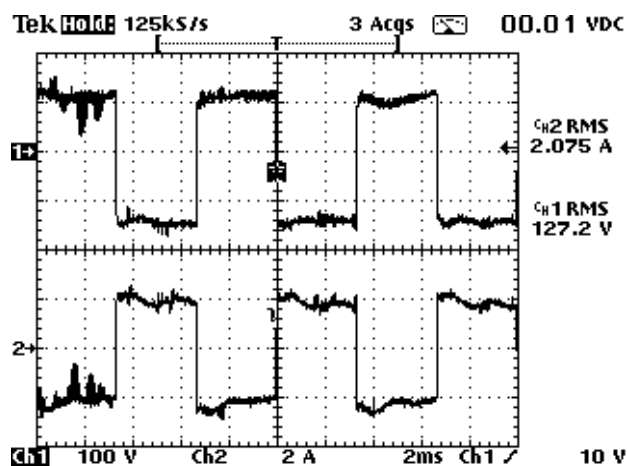


Figura 6.24 – Etapa 3 (Potência Constante): Tensão (superior) e Corrente (inferior) de uma lâmpada à vapor sódio de 150W. (50V/div; 2A/div; 2ms/div).

6.2.3.3 - COMPARAÇÃO ENTRE ACIONAMENTO POR REATOR ELETROMAGNÉTICO E REATOR ELETRÔNICO

Pode-se observar através da figura 6.25 o comportamento da lâmpada desde a etapa de aquecimento até a estabilização. Neste acionamento, a corrente não é mantida constante e a potência é atingida em 3 minutos.

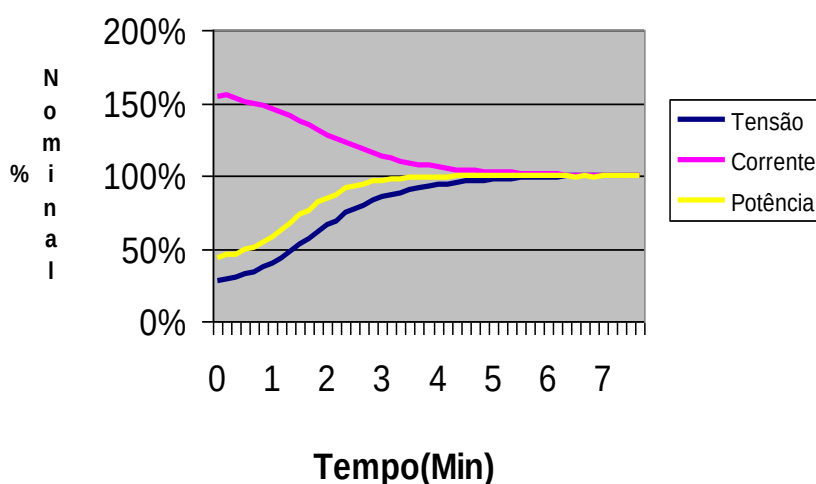


Figura 6.25– Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 250W, acionada por reator eletromagnético.

Na figura 6.26 observa-se que o reator eletrônico mantém corrente constante em menos de 2 minutos, atingindo neste tempo a potência nominal.

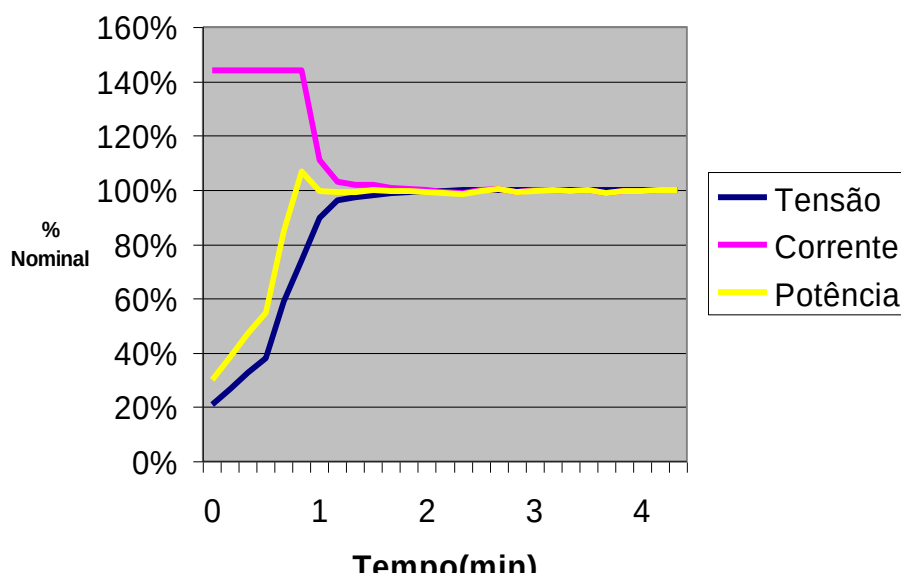


Figura 6.26 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 250W, acionada por reator eletrônico.

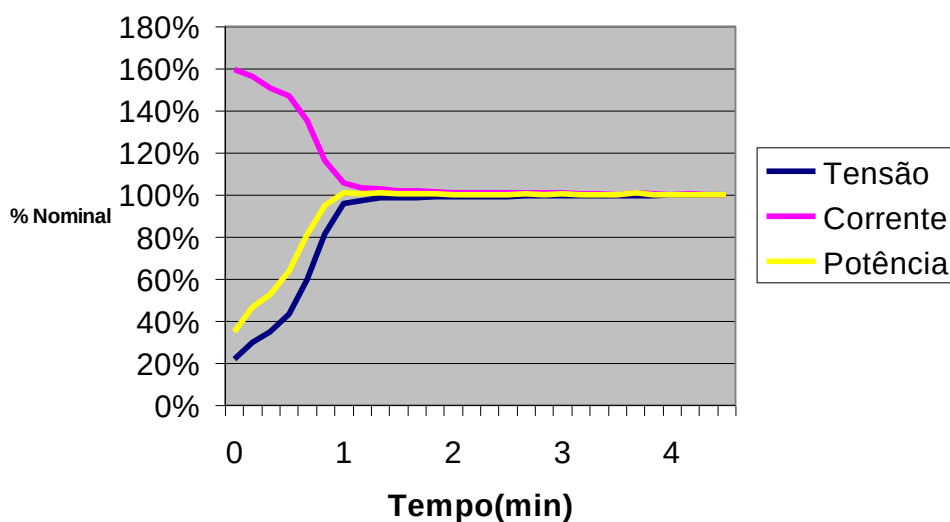


Figura 6.27 – Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W, acionada por reator eletromagnético.

Comparando a figura 6.27 e 6.28 tem-se que o reator eletrônico consegue atingir a potência nominal em menos tempo. Os resultados mostrados na figura 6.28 vem

confirmar os resultados simulados e experimentais onde impõe-se corrente constante na etapa de aquecimento e mantém-se a potência constante na etapa de regime permanente.

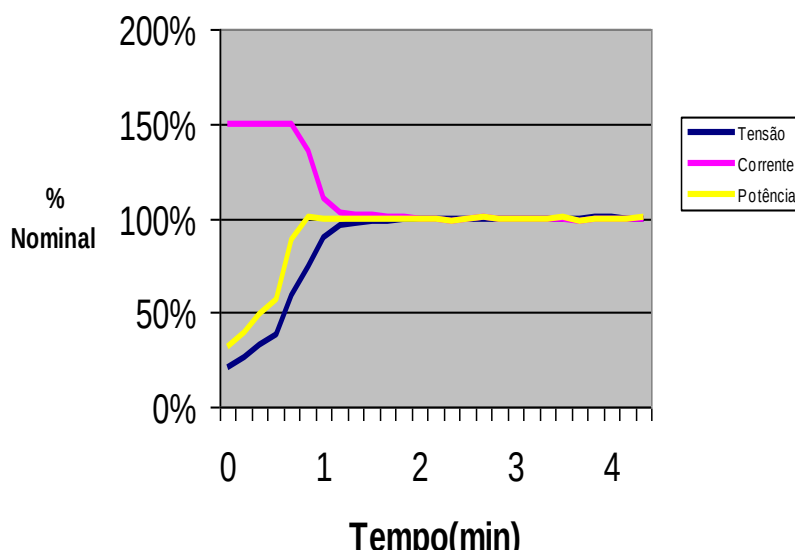


Figura 6.28– Comportamento da tensão, corrente e potência de uma lâmpada à vapores metálicos de sódio de 250W, acionada por reator eletrônico.

6.3 –RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SIMULADOS DO REATOR ELETRÔNICO UTILIZANDO O CONVERSOR “BUCK+BOOST” PARA LÂMPADAS 70W, 150W e 250W.

Para o reator Buck+Boost serão apresentados os resultados da mesma forma do item 6.2, diferenciando apenas na etapa de ignição e aquecimento onde somente o conversor “Buck” atua. Isto devido à necessidade de se obter uma partida mais suave, assim como pode ser visto nos resultados anteriores.

Como a ignição será feita considerando apenas o conversor “Buck” de operação não há necessidade de repetir os resultados mostrados no item 6.2.

6.3.1 – PARA LÂMPADAS DE 70W

6.3.1.1 - ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME PERMANENTE.

A figura 6.29 mostra as formas de onda de tensão e corrente simuladas.

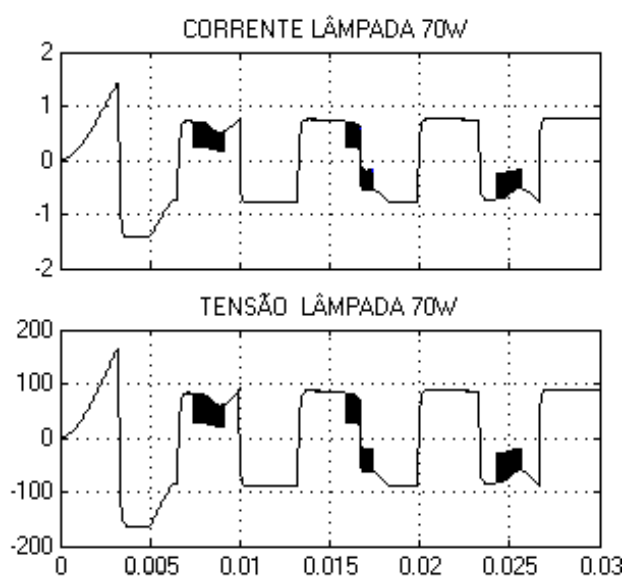


Figura 6.29-Simulação das Etapas de Aquecimento e Regime Permanente para Lâmpada de 70W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (1A/div; 100V/div 5ms/div)

Como pode ser visto, a partida se dá no modo “Buck” com uma corrente constante com valor de 1,5 vezes a nominal. Logo depois há um degrau de carga, entrando na etapa de potência constante. Nesta etapa o conversor “Boost” atua, melhorando as características de corrente na potência de 70W.

Observa-se também que a corrente não vai a zero na etapa “Boost” devido às capacitâncias intrínsecas do circuito inversor.

As figuras 6.30 e 6.31 mostram os resultados experimentais das formas de onda de tensão e corrente nas lâmpadas à vapor de sódio e à vapores metálicos respectivamente.

Nesta etapa a corrente permanece constante e a tensão aumenta até chegar à etapa 3, onde a potência se mantém constante.

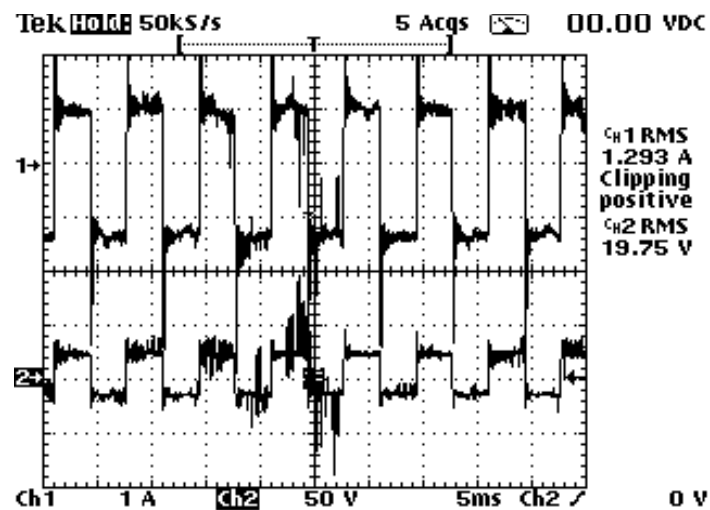


Figura 6.30 – Etapa 2 (Corrente Constante): Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;50V/div; 2ms/div).

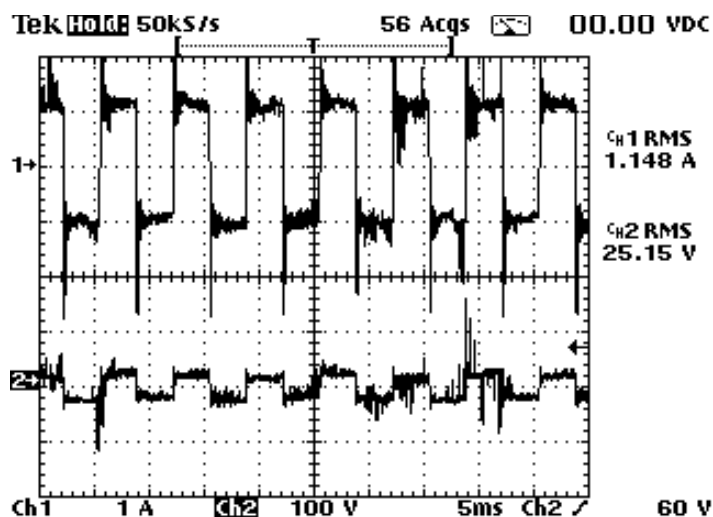


Figura 6.31 – Etapa 2 (Corrente Constante): Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 70W. (1A/div;50V/div; 2ms/div).

As figuras 6.32 e 6.33 mostram a corrente no indutor e os pulsos de gatilho da chave M_{Buck} durante a etapa de aquecimento. As formas de onda são das lâmpadas a vapor de sódio e à vapores metálicos respectivamente.

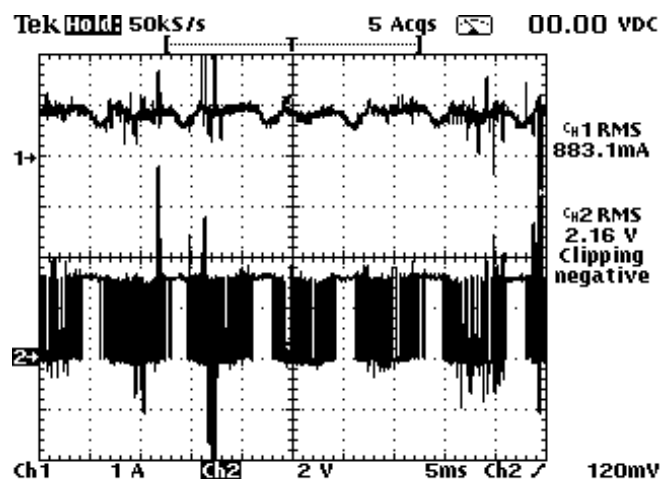


Figura 6.32 – Etapa2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) eTensão “gate” Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;2V/div; 5ms/div).

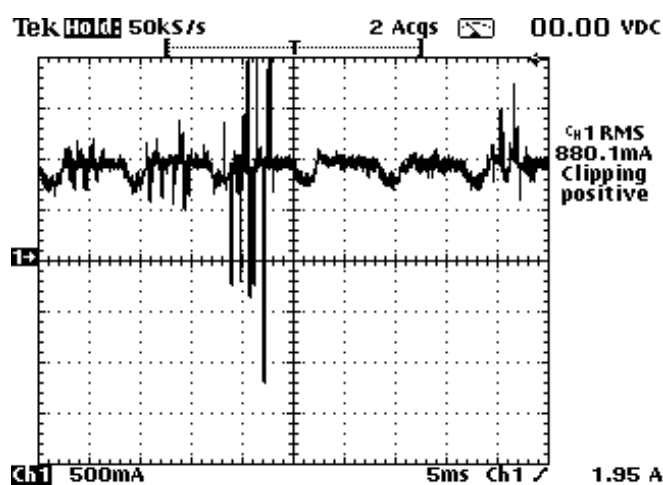


Figura 6.33 – Etapa2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos 70W. (1A/div; 5ms/div)

Como somente o conversor “Buck” está operando, a ondulação que aparece na forma de onda de corrente é porque a tensão de saída é maior que a de entrada e o conversor “Buck” não consegue controlar a corrente.

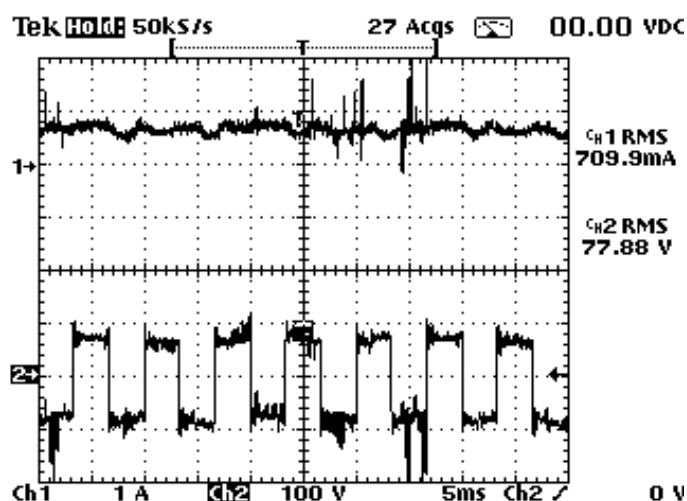


Figura 6.34 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão Lâmpada (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;100V/div; 5ms/div).

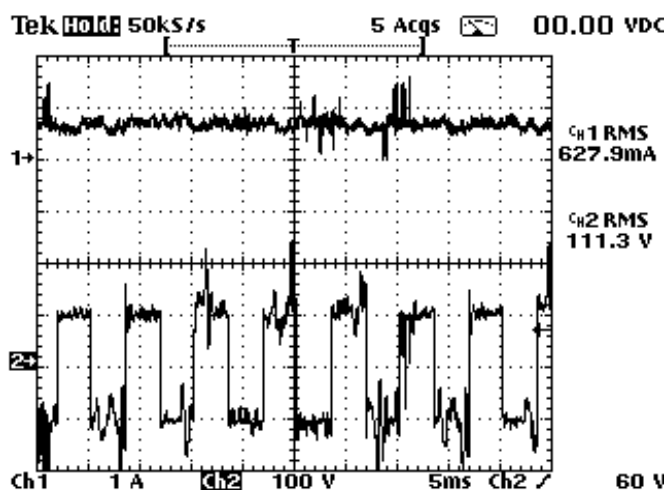


Figura 6.35– Etapa 3 (Potência Constante):: Corrente indutor (superior) e Tensão Lâmpada (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de vapores metálicos de 70W. (1A/div;100V/div; 5ms/div).

Esta ondulação é diminuída quando o conversor” Boost” começa à atuar na etapa3. O que pode ser verificado nas figuras 6.34 à 6.39.

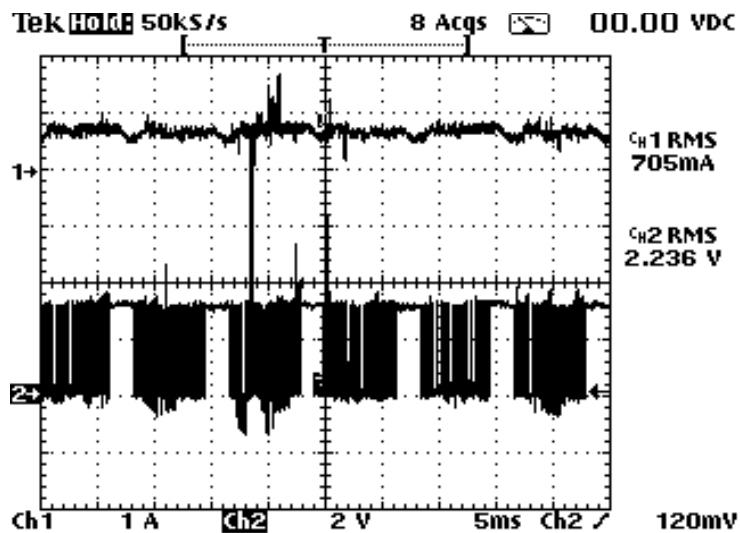


Figura 6.36 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;2V/div; 5ms/div)

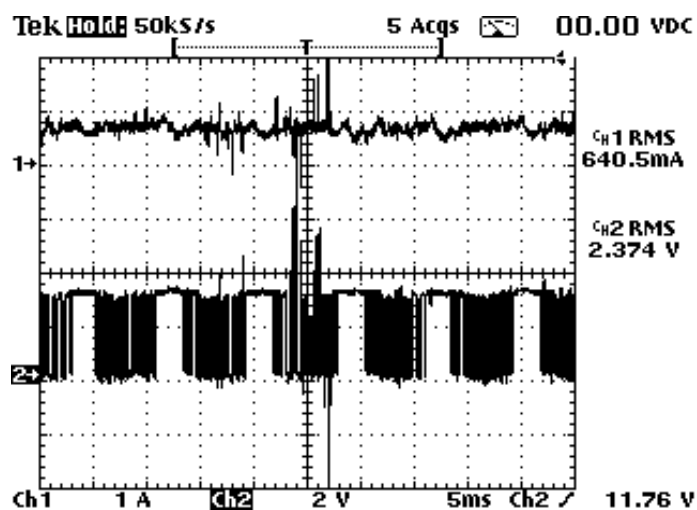


Figura 6.37 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos de 70W. (1A/div;2V/div; 5ms/div)

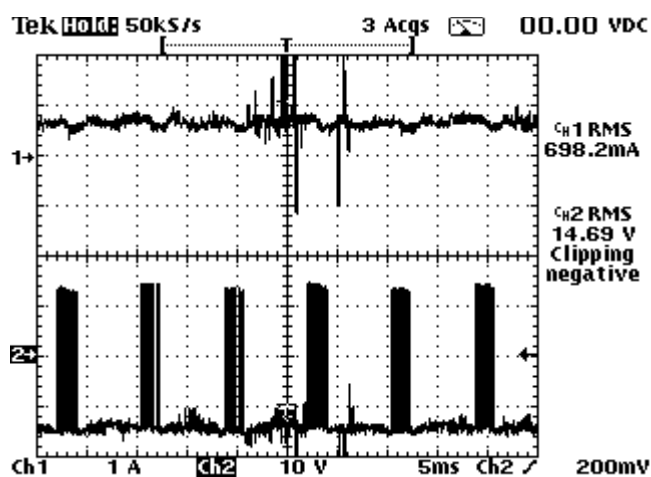


Figura 6.39 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Boost (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;10V/div; 5ms/div)

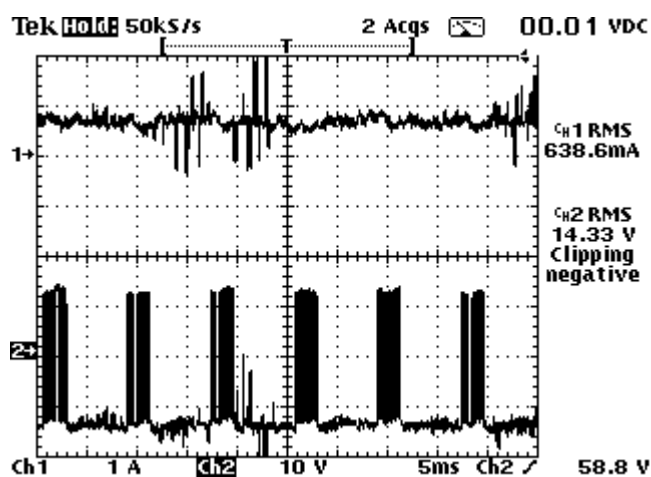


Figura 6.40 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Boost (inferior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos de 70W. (1A/div;10V/div; 5ms/div)

Os resultados experimentais obtidos para o controle de potência são mostrados nas figuras 6.40 e 6.41.

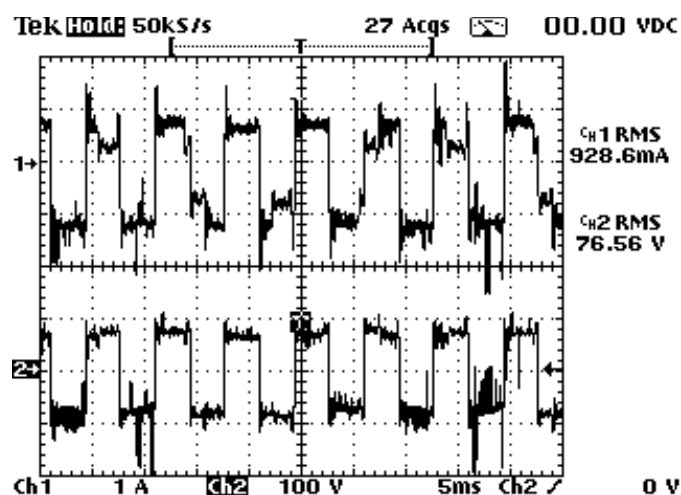


Figura 6.40-Etapa 3 (Potência Constante):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;100V/div;5ms/div).

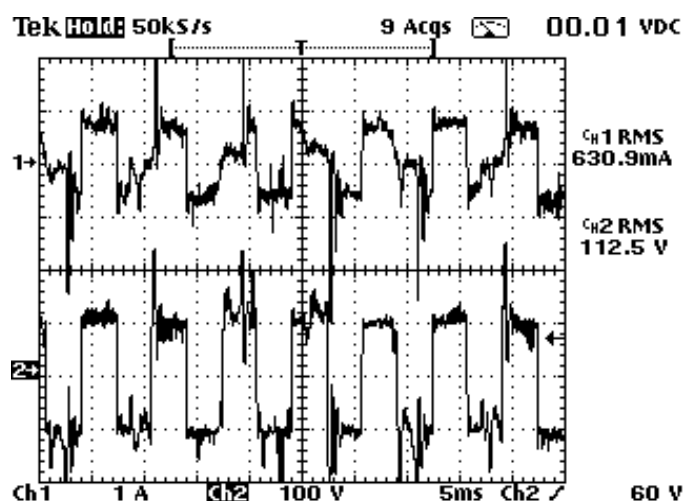


Figura 6.41 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 70W (1A/div;100V/div;5ms/div).

Embora as lâmpadas possuam características de corrente e tensão diferentes o controle digital conseguiu adaptar-se à cada uma delas mantendo a potência constante.

Analisando o controle para um degrau de carga figura 6.42 vê-se que a transição foi feita de forma estável, estando em conformidade com os resultados simulados.

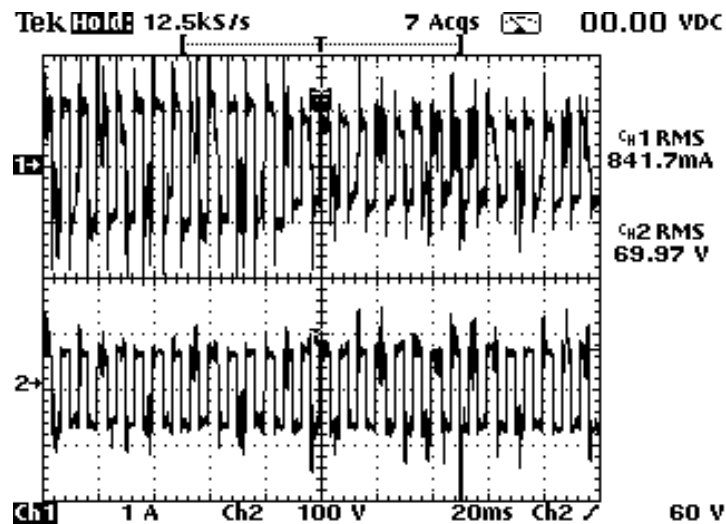


Figura 6.42-Etapa3 (Potência Constante-Dimerização):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 70W. (1A/div;100V/div;5ms/div).

6.3.2 – PARA LÂMPADAS DE 150W

6.3.2.1 - ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME

PERMANENTE.

As formas de onda simuladas para corrente no indutor e pulsos para disparo da chave M_{Buck} na etapa de aquecimento são mostradas na figura 6.48.

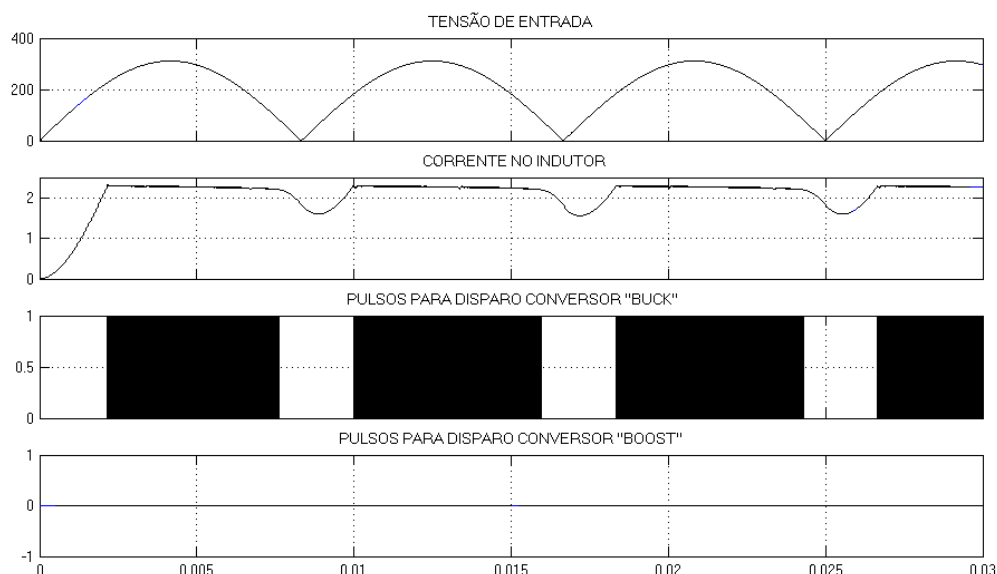


Figura 6.48-Simulação da Etapa de Aquecimento para Lâmpada de 150W. Forma de Onda de Tensão de entrada, Corrente no Indutor e Pulsos para disparo da chave M_{Buck} (100V/div; 0,5A/div; 0,5V/div; 5ms/div)

Como nesta etapa só o conversor “Buck” funciona, as ondulações em baixa frequência que aparecem são devido a saturação do controle, onde a tensão de saída torna-se menor que a tensão de entrada.

Nos resultados experimentais o mesmo processo ocorre, como pode ser visto pelas figuras 6.49 e 6.50.

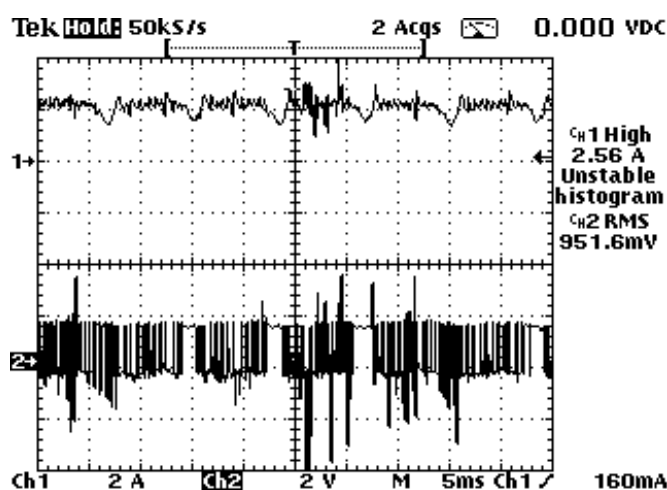


Figura 6.49 — Etapa 2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão dos pulsos disparo Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. (1A/div; 2V/div; 5ms/div).

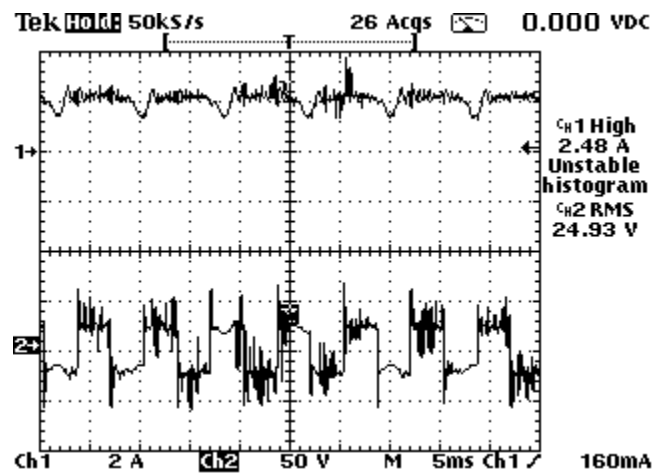


Figura 6.50 – Etapa 2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão na lâmpada (inferior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos 150W. (1A/div; 5ms/div)

Para a etapa de regime permanente os resultados simulados são os apresentados na figura 6.51.

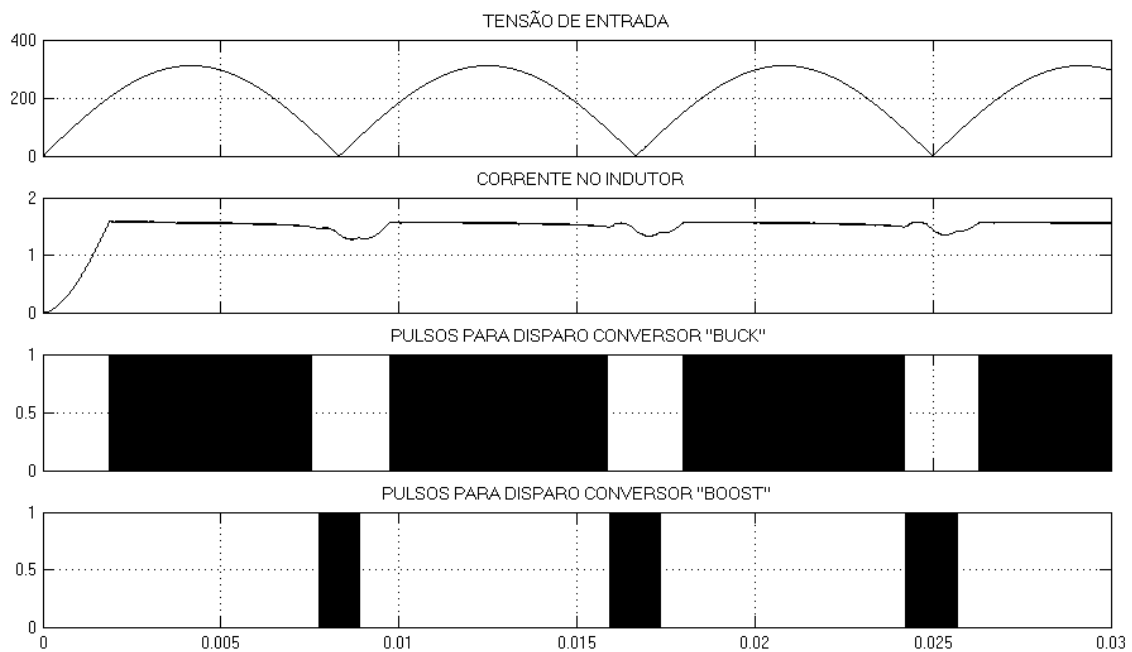


Figura 6.51-Simulação da Etapa de Regime Permanente para Lâmpada de 150W. Forma de Onda de Tensão de entrada, Corrente no Indutor e Pulsos para disparo das chaves M_{Buck} e M_{Boost} .

O conversor nesta etapa opera nos modos “ Buck” e “ Boost” conforme descrito no capítulo 5. Desta forma, a ondulação de corrente de baixa frequência diminui.

As figuras 6.52 à 6.55 confirmam os resultados simulados através das formas de onda da corrente no indutor, pulsos dos disparos das chaves e tensão de entrada. O controle digital além de manter a potência constante, conseguiu separar os modos de operação.

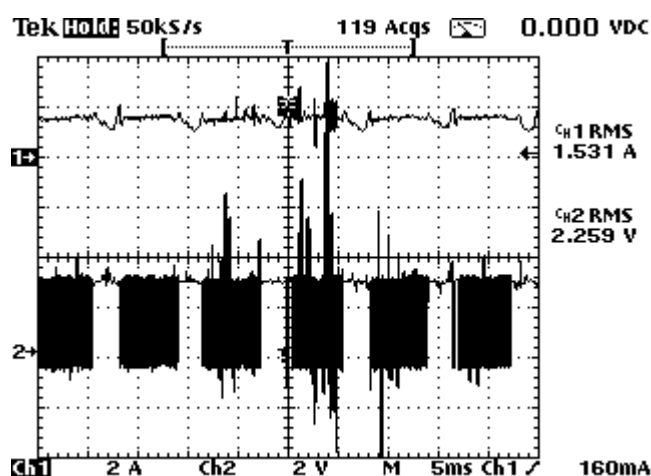


Figura 6.52 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. (2A/div;10V/div; 5ms/div)

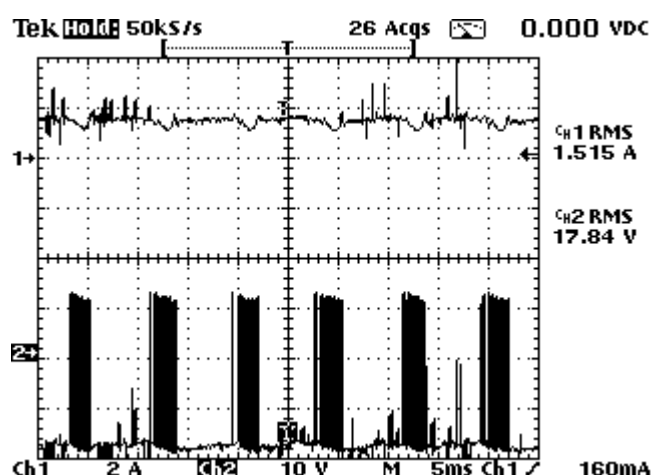


Figura 6.54 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão “gate” Chave Boost (inferior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos de 150W. (2A/div;10V/div; 5ms/div)

A figura 6.56 mostra as formas de onda de simulação da corrente e a tensão sobre a lâmpada durante a etapa de regime permanente.

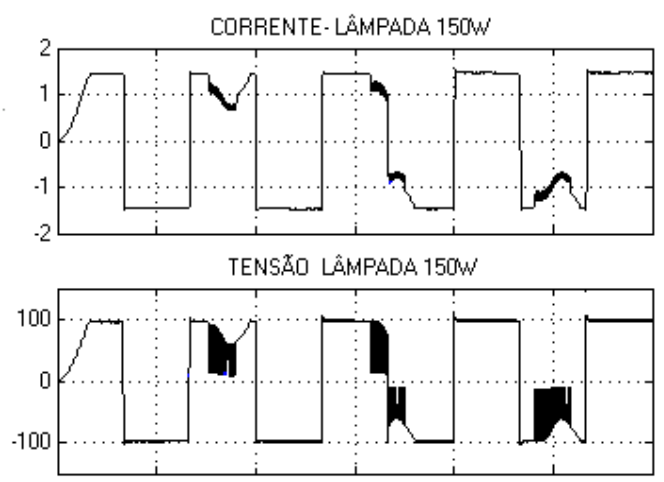


Figura 6.56-Simulação da Etapa de Regime Permanente para Lâmpada de 150W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (1A/div; 100V/div 5ms/div)

Os resultados experimentais obtidos são apresentados nas figuras 6.57 e 6.58. Apesar de a corrente estar em alta frequência no modo “Boost”, a lâmpada não apagou. Comparando os resultados experimentais e simulados verifica-se que estão semelhantes.

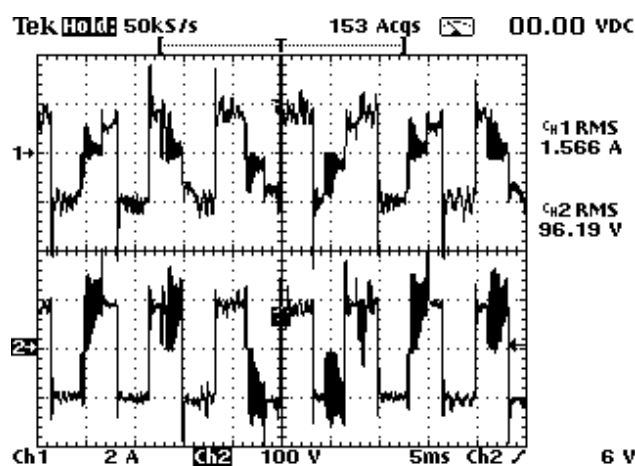


Figura 6.57-Etapa 3 (Potência Constante):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

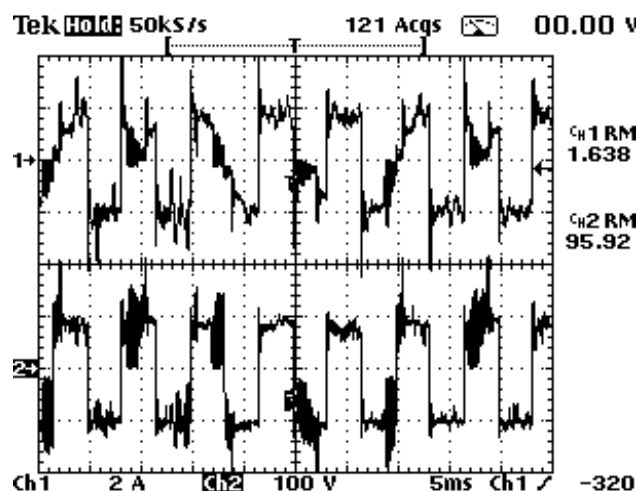


Figura 6.58 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 150W (2A/div;100V/div;5ms/div)

Através da aplicação de um degrau de carga, percebe-se mais uma vez a transição suave da corrente imposta sobre a lâmpada, permitindo assim, a continuação do arco elétrico. Os resultados de simulação da figura 6.59 estão confirmados pelos resultados experimentais das figuras 6.60 e 6.61.

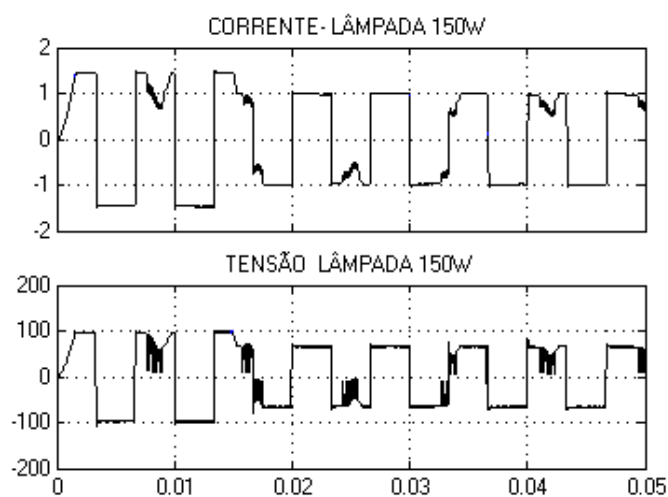


Figura 6.59-Simulação de um degrau de carga em Regime Permanente para Lâmpada de 150W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente.

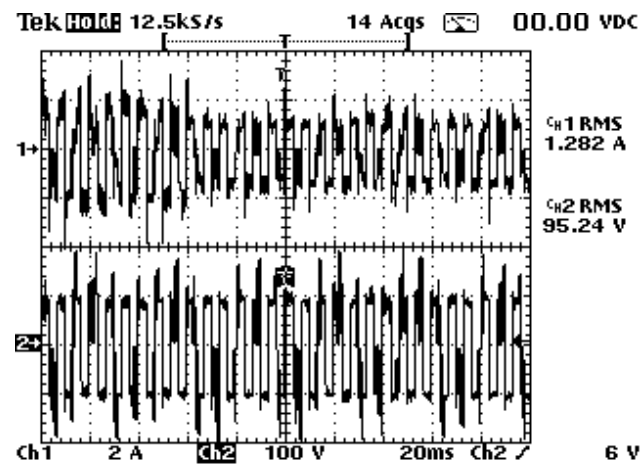


Figura 6.60-Etapa 3 (Potência Constante-Dimerização):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 150W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

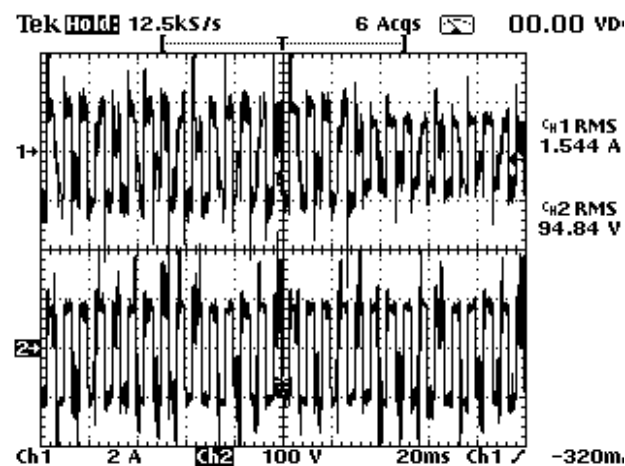


Figura 6.61-Etapa3 (Potência Constante-Dimerização):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada a vapores metálicos de 150W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

6.3.3 – PARA LÂMPADAS DE 250W

6.3.3.1 - ETAPA DE AQUECIMENTO E REGIME

PERMANENTE.

A figura 6.66 mostra a simulação da etapa de aquecimento, as formas de onda são: tensão retificada de entrada, corrente no indutor e pulsos para disparo da chave

$$M_{Buck} \cdot$$

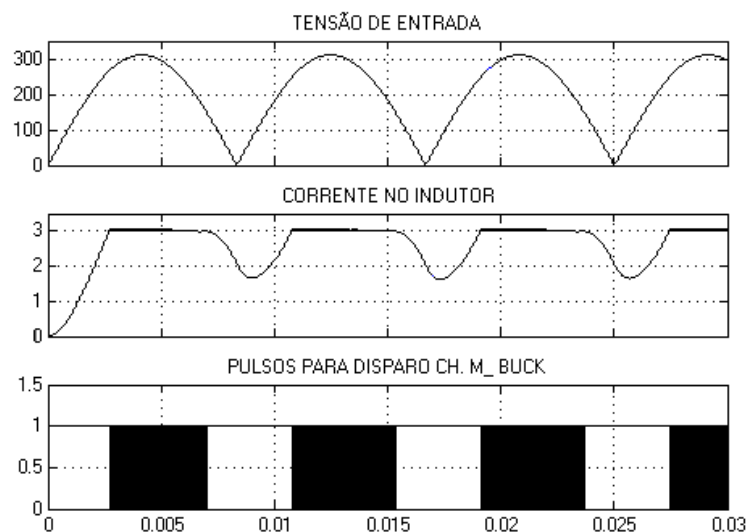


Figura 6.66 Simulação da Etapa de Aquecimento para Lâmpada de 250W. Forma de Onda de Tensão de entrada, Corrente no Indutor e Pulsos para disparo da chava M_{Buck} (100V/div; 0,5A/div; 0,5V/div; 5ms/div).

A ondulação em baixa frequência da corrente no indutor ocorre novamente nesta etapa. O mesmo ocorre experimentalmente como verificado nas figuras 6.67 e 6.68.

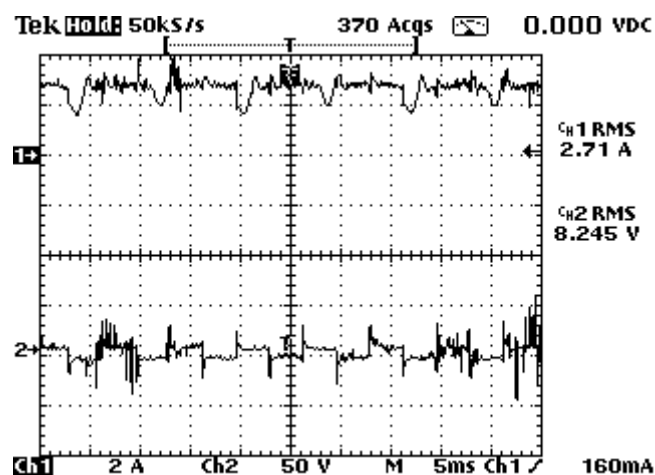


Figura 6.67 — Etapa2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão sobre a lâmpada (inferior) para uma lâmpada à vapor de sódio de 250W. (2A/div;100V/div; 5ms/div)

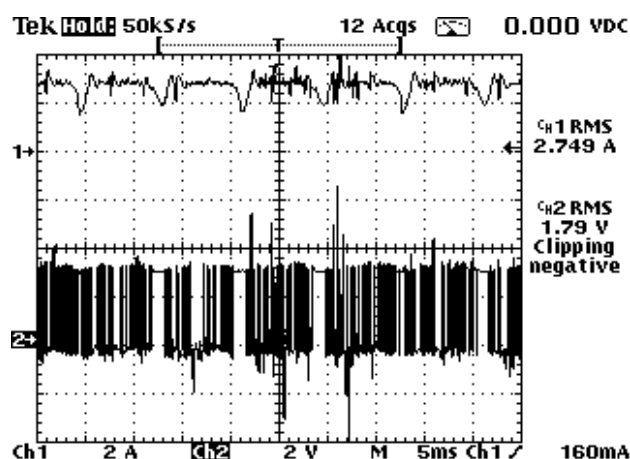


Figura 6.68 — Etapa2 (Corrente Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão dos pulsos disparo Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada a vapores metálicos 250W. (2A/div;1V/div; 5ms/div).

Esta característica é inerente à operação do conversor “Buck” que atua somente quando a tensão de saída é menor que a de entrada.

As figuras 6.69 à 6.73 mostram as formas de onda de simulação e experimentais para a etapa de regime permanente.

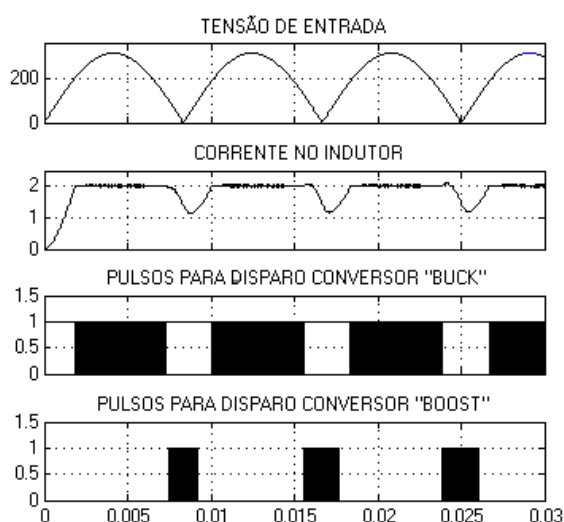


Figura 6.69-Simulação da Etapa de Regime Permanente para Lâmpada de 250W. Forma de Onda de Tensão de entrada, Corrente no Indutor e Pulsos para disparo das chaves M_{Buck} e M_{Boost} .

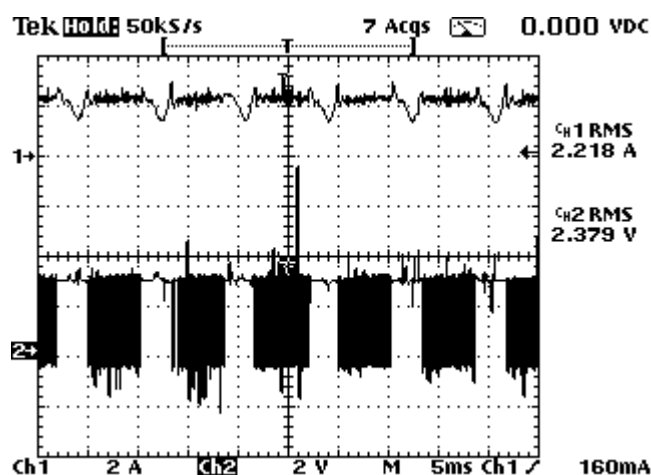


Figura 6.70 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão Disparo Chave Buck (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 250W. (2A/div;10V/div; 5ms/div)

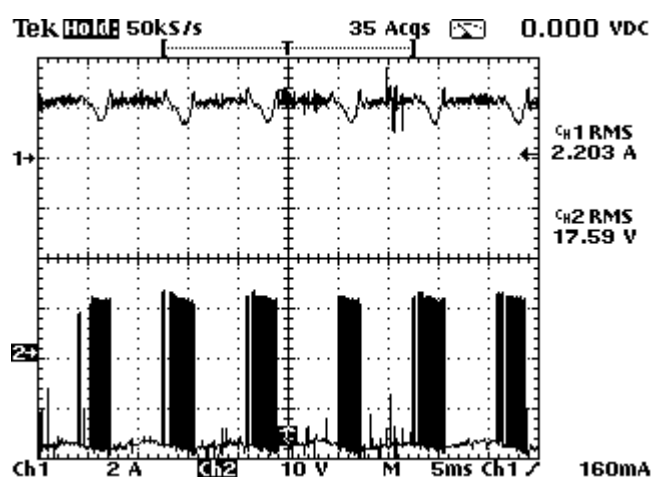


Figura 6.71 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão Disparo Chave Boost (inferior) do reator para uma lâmpada a vapores metálicos de 250W. (2A/div;2V/div; 5ms/div)

Apesar da ondulação não ter diminuído significadamente com o conversor operando no modo “Boost”, o controle digital realiza todas as tarefas propostas, ou seja, alterna os modos de operação nos intervalos determinados e impõe corrente constante na etapa de aquecimento.

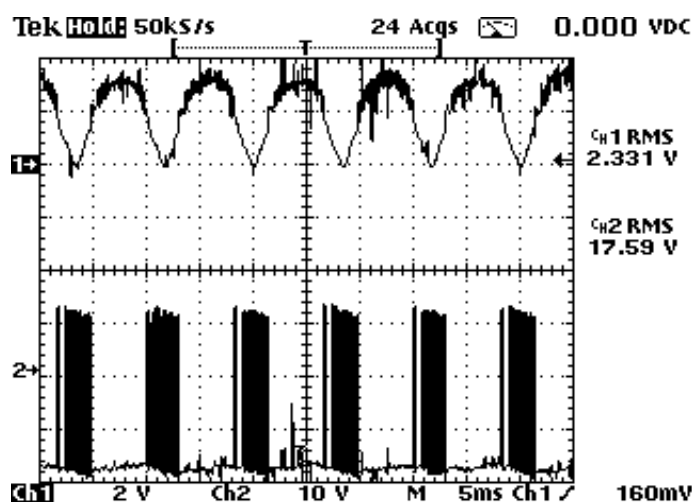


Figura 6.72 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão Disparo Chave” Boost” (inferior) do reator para uma lâmpada à vapor de sódio de 250W. (2A/div;10V/div; 5ms/div)

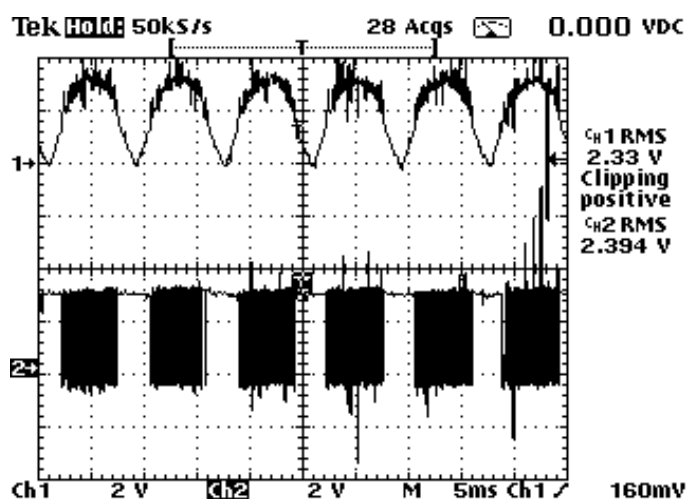


Figura 6.73 – Etapa 3 (Potência Constante): Corrente indutor (superior) e Tensão Disparo Chave Boost (inferior) do reator para uma lâmpada à vapores metálicos de 250W. (2A/div;10V/div; 5ms/div)

O controle de potência pode ser verificado na simulação, figura 6.74 e nos resultados experimentais das figuras 6.75 e 6.77, tanto para as lâmpadas a vapor de sódio como a de vapores metálicos.

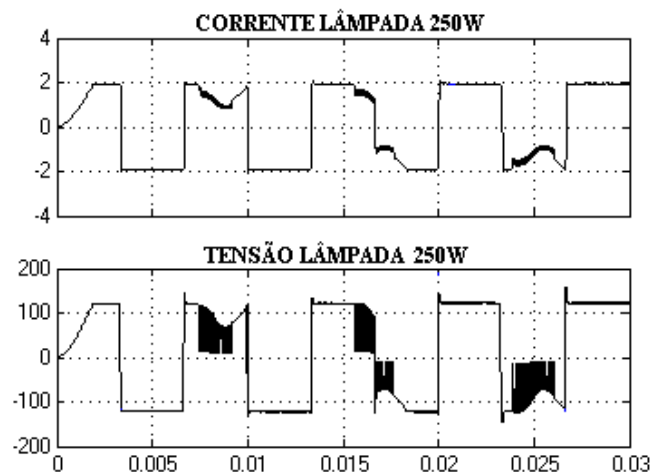


Figura 6.74-Simulação da Etapa de Regime Permanente para Lâmpada de 250W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente (2A/div; 100V/div 5ms/div)

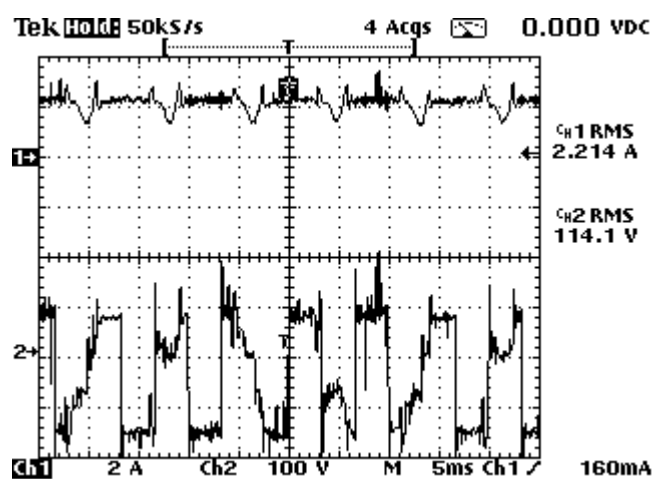


Figura 6.75-Etapa3 (Potência Constante):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 250W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

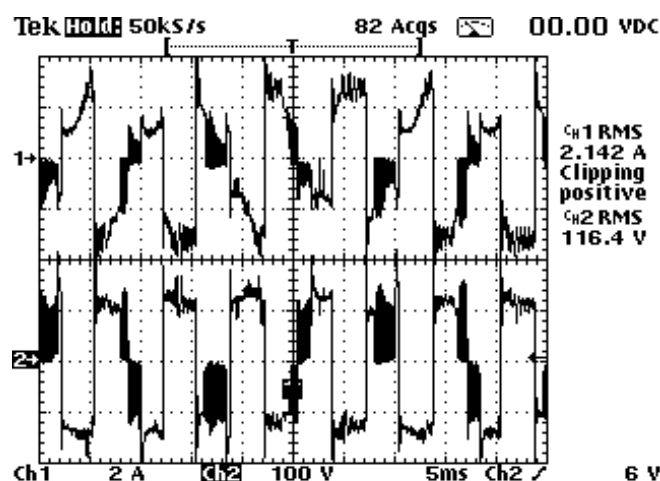


Figura 6.76 – Etapa3 (Potência Constante): Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 250W (2A/div;100V/div;5ms/div)

Outra característica do controle digital implementado, é fazer dimerização sem que a lâmpada possa apagar. A figura 6.77 mostra os resultados de simulação feita para um degrau de carga.

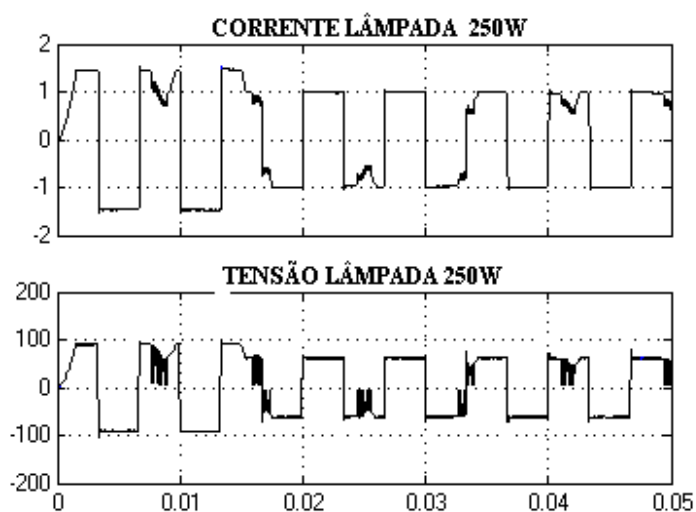


Figura 6.77- Simulação de um degrau de carga em Regime Permanente para Lâmpada de 250W. Forma de Onda de Corrente e Tensão Respectivamente.

Os resultados experimentais para a dimerização são apresentados nas figuras 6.78 e 6.79.

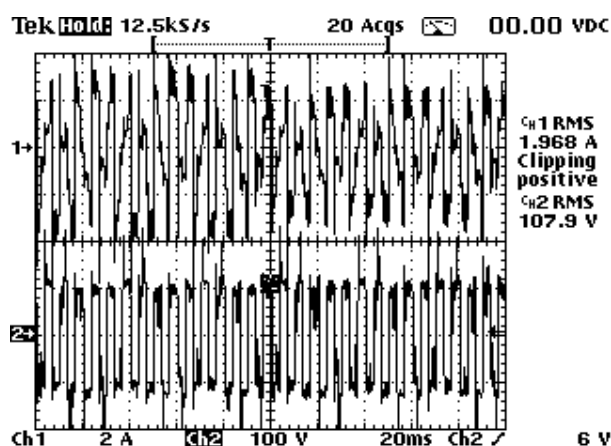


Figura 6.78-Etapa 3 (Potência Constante-Dimerização):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapor de sódio de 250W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

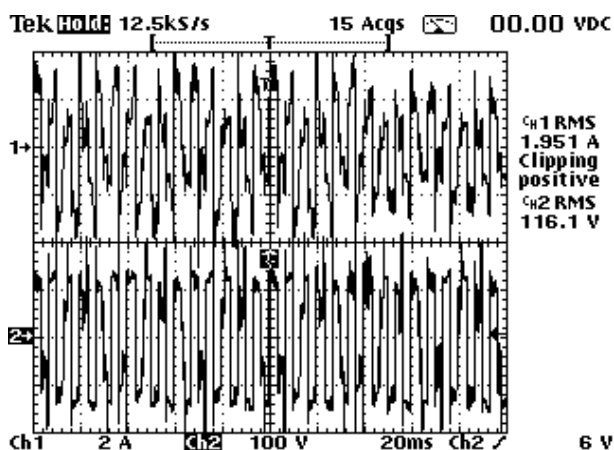


Figura 6.79-Etapa 3 (Potência Constante-Dimerização):Corrente (superior) e Tensão (inferior) de uma lâmpada à vapores metálicos de 250W. (2A/div;100V/div;5ms/div).

Comparando os resultados simulados aos experimentais verifica-se que a transição de carga se faz de forma estável, permitindo diminuição do fluxo luminoso sem que haja extinção do arco elétrico.

6.4 – CONCLUSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados simulados e os experimentais de dois reatores eletrônicos. O primeiro reator com o conversor “Buck” e o segundo com o conversor “Buck+Boost” em cascata.

O controle digital implementado cumpriu todas as tarefas dedicadas em todas as etapas de operação das lâmpadas, assim como especificar os modos de operação no conversor.

Foram apresentados os resultados experimentais de um reator eletromagnético e dos protótipos implementados, ambos acionando as lâmpadas de 70W, 150W e 250W.

Através de gráficos comparativos, verificou-se o comportamento das grandezas : tensão, corrente e potência durante as etapas de aquecimento e regime permanente.

Capítulo VII

Conclusão Geral

O mercado de circuitos acionadores de lâmpadas é grande e vem crescendo constantemente nos últimos anos. Atualmente, os reatores se dividem em magnéticos e eletrônicos. Para acionar corretamente uma lâmpada AID, o reator eletrônico deve ser capaz de:

- fornecer um pulso de tensão em um valor adequado para iniciar a descarga elétrica dentro do tubo da lâmpada;
- limitar o valor de corrente durante a etapa de aquecimento da lâmpada;
- controlar a potência na lâmpada durante o regime permanente, compensando as variações na tensão de entrada e na resistência equivalente da lâmpada devido ao envelhecimento.

O reator magnético é capaz de realizar um acionamento satisfatório de lâmpadas AID, embora apresente algumas desvantagens, tais como elevado peso e volume, maior tempo para atingir o brilho máximo da lâmpada e pouca compensação durante a etapa de regime permanente.

Os dois circuitos dos reatores eletrônicos utilizados no presente trabalho são compostos por um conversor (“Buck” para o primeiro e “Buck+Boost” em cascata para o segundo), e um inversor em ponte completa, fornecendo uma corrente de forma quadrada a uma frequência de 150Hz. O pulso de tensão é fornecido por um circuito dedicado, acionado por um tiristor.

O controle da corrente fornecida à lâmpada, através da razão cíclica do interruptor do circuito “*Buck*” e também dos interruptores do circuito “*Buck+Boost*”, é feito por um dispositivo FPGA da família FLEX 10K, da Altera™.

Além do controle de corrente, os pulsos para os interruptores do inversor e para o tiristor de ignição são também gerados pelo dispositivo FPGA.

Dois reatores eletrônicos acionando lâmpadas de 70W, 150W e 250W foram construídos, através das análises qualitativas e quantitativas.

Na comparação com o reator magnético convencional, pode-se destacar a redução considerável no tempo para se atingir o brilho máximo nas lâmpadas.

Como sugestões para futuros trabalhos relacionados ao uso de FPGA para acionamento de lâmpadas AID, pode-se citar:

- Construção de um sistema *On-Power*:

Para que o sistema se torne *On-Power*, ou seja, funcionando desde o ligamento, é necessário o uso de um dispositivo FPGA contendo memória não volátil ou o acréscimo de um dispositivo dedicado à programação da FPGA.

- Implementação do controle utilizando linguagem de descrição de hardware (HDL).

Visando a independência de tecnologia, o circuito lógico de controle deve ser feito utilizando-se uma linguagem de descrição de hardware, permitindo que o mesmo possa ser compilado em um programa de outro fabricante.

- Correção de fator de potência: um estágio de entrada com conversor “*Boost*”, alimentando um conversor “*Buck*”.
- Melhorias com relação ao rendimento do conversor: Buscar soluções para o aumento do rendimento do conversor, como exemplo da inserção de células não

dissipativas nos interruptores, e também utilizar técnicas de controle mais complexas.

Referências Bibliográficas

- [1]"LAMPS AND LIGHTING", J.R. Coaton and A.M. Marsden
- [2]"REATOR ELETRÔNICO PARA O ACIONAMENTO DE LÂMPADAS DE ALTA INTENSIDADE DE DESCARGA DE 70 W", Dissertação de Mestrado, Cassius Zanetti Resende, Vitória 2002.
- [3] Alvarez, J. M. A. "ALIMENTACION DE LAMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA: APORTACIONES EN LA OTIMIZACION DEL SISTEMA ELECTRONICO". Gijon, september 1994, Universidad de Oviedo.
- [4] Byszewski, W. W. ;Budinger, A. B.; Li, Y. M."HID STARTING: GLOW DISCHARG AND TRANSITION TO THE THERMOIONIC ARC". Journal of the Illuminating Engineering Society,. pp 3-9, Summer, 1992.
- [5] Pabst, W.; Klien, D. " IGNITING HIGH-PRESSURE LAMPS WITH ELETRONIC BALLAST" Journal of the Illuminating Engineering Society. vol. 21, nº 2, pp 14-20, Summer, 1991.
- [6] Zaslavvsky, G.; Cohen, S.; Keeffe, W." IMPROVED STARTING OF THE 100W METAL HALID LAMP". Journal of the Illuminating Engineering Society, pp 76-83, Summer, 1990.
- [7] Faehnrich, H., Rash, E. "ELETRONIC BALLAST FOR METAL HALIDE LAMPS". Journal of the Illuminating Engineering Society, pp 131-140, Summer, 1988.
- [8] Redl, R.; Jon, D. P. " A NEW HIGH FREQUENCY AND HIGH-EFFICIENCY ELETRONIC BALLAST FOR HID LAMPs: TOPOLOGY, ANALYSIS, DESIGN, AND EXPERIMENTAL RESULTS" In: Applied Power Eletronics Conference – APEC, 1999, Dallas, Texas, U.S.A. Anais..., CD-ROM.
- [9] Ohguchi, H. Et al."A HIGH-FREQUENCY ELETRONIC BALLAST FOR HID LAMPs BASED ON $\lambda/4$ –LONG DISTRIBUTED CONSTANT LINE". IEEE Transaction on power Eletronics, Vol. 13. No. 6. pp. 1023 – 1029, November 1998.
- [10] Bor-Renn, L., Yuen-Chou, H., H. "DIMMING CONTROL FOR HIGH INTENSITY DISCHARGE LAMP WITH POWER FACTOR CORRECTION" In: European Power Eletronic Conference – EPE, 1999, Lausanne, Switzerland. Anais... 1 CD-ROM.
- [11] Gulko, M.; Medini, D.; Ben-Yaakov S. "INDUCTOR CONTROLLED CURRENT-SORCING RESONANT INVERTER AND ITS APPICATION AS A HIGH PRESSURE DISCHARGE LAMP DRIVER". In: Appied Power Eletronics Confeence- APEC, 1994, Orlando, Florida. ANAIS... pp. 434-440.

- [12] Ben-Yaacov, S.; Gulko, M. "DESIGN AND PERFORMANCE OF AN ELETRONIC BALLAST FOR HIGH-PRESURE SODIUM (HPS) LAMPS". IEEE Transaction on Industrial Eletronics, Vol 44, No. 3, pp. 573-585, May 1998.
- [13] Alonso, J. M. et. al." ANALISYS, DESIGN AND OPTIMIZATION OF THE LCC RESONANT INVERTER AS A HIGH-INTENSITY DISCHARGE LAMP BALLAST" In: IEEE Power Eletronic, Vol 13, No. 3, p. 573-585, May 1998.
- [14] Yamauchi, T.; Shiomi, T., "A NOVEL CHARGE PUMP POWER FACTOR CORRECTION ELETRONIC BALLAST FOR HIGH INTENSITY DISCHARGE LAMPS". In: IEEE Power Eletronic Specialis Conference - PESC, 1998, Fukuoca, Japan. Aais... pp.1761-1767.
- [15] Nishimura, H. et al."A NEW ELETRONIC BALLAST FOR HID LAMPS". JOurnal of the illuminating Engineering Society, pp. 70-76, Summer,1998.
- [16] Có, M. et al "MICROCONTROLLED ELETRONIC GEAR FOR HID LOW POWER METAL LAMPS". 6º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, COBEP 2001, Forianópolis; VOL. 2; pp. 656-660.
- [17] Peng, H. et. Al." A NEW ELETRONIC BALLAST FOR HID LAMP" In: IEEE Industry Appication Society Annual Metting – IAS, 1997, Anais... pp. 2276-2283.
- [18] Enjeti, P.; Weyen, D.; Laskay, L. Pitel, I. " A UNITY POWER FACTOR ELETRONIC BALLAST FOR METAL HALID LAMPS" In: Applied Power Eletronics Conference – APEC, 1994, Orlando, Flórida. U.S.A., Anais...pp.2225-2230.
- [19] Van, P.; Weyen, D.; Meynen, G. "TEST RESULT FROM HIGH INTENSITY DISCHARGE LAMPs WITH CURRENT SUPPLIED AT 50 Hz, 400Hz AND MODULATED BETWEEN 15 AND 35 kHz" In: IEEE Industry Appication Society Annual Metting – IAS, 1996, San Diego, California, U.S.A. Anais... pp. 2103-2108.
- [20] Kaiser, W. "HIBRID ELETRONIC BALLAST OPERATING THE HPS LAMP AT CONSTANT POWER". In : IEEE Industry Application Society Annual Metting- IAS, 1996, San Diego,California,U.S. A. Anais...pp. 2103-2108.
- [21] Wada, S.; Okada, A.; Morii, S. "STUDY OF HID LAMP WITH REDUCED ACUSTIC RESONANCES" Journal of the Illuminating Engineering Society. vol. 10, nº 1, pp 162-175,Winter, 1987.
- [22] Hein, P. F. ; Arbinger, K.; "NA ASIC CONTROLLED IGNITOR FOR HI/HS-LAMPS". In : IEEE Industry Application Society Annual Metting- IAS, 2000, Roma, Italy. Anais... 1 CD-ROM.
- [23] Fiorello, R. "LAMP IGNITOR CIRCUIT". In : Power Supply Control Products (PS) - Data Book 2000, Unitrode Products from Texas Instrument. Design Note DN-72, Cap.9 , pp. 52-54.

- [24] Bum Suk Kang; Hee Jun Kim; "HIGH POWER FACTORELECTRONIC BALLAST FOR HIGH PRESSURE SODIUM LAMP".TENCON 99. Proceedings of the IEEE Region 10,Conference, Volume: 2, Dec 1999, Page(s): 87 –890, vol.2.
- [25] Alves, J.A.; Perin, A.J.; Barbi, I.; "AN ELECTRONIC BALLASTWITH HIGH POWER FACTOR FOR COMPACT FLUORESCENT LAMPS". Industry Applications Conference", 1996. Thirty-FirstIAS Annual Meeting, IAS '96. Conference Record of the 1996 IEEE , Volume: 4 , 6-10 Oct 1996, Page(s): 2129 - 2135 vol.4.
- [26] Tsay, C. L.; Chun, H. S. e outros." DEVELOPMENT OF A VERSATILE BALLAST FOR METAL HALIDE LAMPS WITH PHASE-SHIFT SOFT-SWITCHING CONTROL ". IEEE 1996.
- [27] Brown, S.; Rose, J.; Francis, R.; Vranesic, Z.,” FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAYS “, Kluwer Academic Publisher, 1997.
- [28] Harding, B.,” HDLS: A HIGH-POWERED WAY TO LOOK AT COMPLEX DESIGN, COMPUTER DESIGN”, p. 74-84, March 1990.
- [29] Atwell, J.,” A MULTIPLEXED MEMORY PORT FOR RUN TIME RECONFIGURABLE APPLICATIONS”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Master Thesis, December 1999.
- [30] Dehon, A.,” RECONFIGURABLE ARCHITECTURES FOR GENERAL-PURPOSE COMPUTING ”, Massachussetts Institute of Technology, Ph.D. Thesis, October 1996.
- [31] Dehon, A.; Wawrzynek, J.,” RECONFIGURABLE COMPUTING: WHAT, WHY, AND DESIGN AUTOMATION REQUIREMENTS ?” , in Proceedings of the 1999 Design Automation Conference, pp. 610-615, June 1999.
- [32] Sanchez, E. et al.,” STATIC AND DYNAMIC CONFIGURABLE SYSTEMS “, IEEE Transactions on Computers. Vol. 48, no. 6, pp. 556-564, June 1999.
- [33] Romero, R. A,” APRENDIZADO EM ROBÔS MÓVEIS VIA SOFTWARE E HARDWARE – ARMOSH” – Projeto de Pesquisa do ICMC-USP, Março de 2000.
- [34] Aragão, A.; Romero, R.; Marques, E.,” Computação RECONFIGURÁVEL APLICADA À ROBÓTICA, IN COMPUTAÇÃO RECONFIGURÁVEL - EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS”, pp.184-188, CORE-2000, Marília-SP, Agosto 2000.
- [35] Aragão, A. C. O. S.; “UMA ARQUITETURA SISTÓLICA PARA SOLUÇÕES DE SISTEMAS LINEARES IMPLEMENTADA COM CIRCUITOS FPGAS”; ICMC – USP; Dezembro de 1998;
- [36] Chan P. K.; “Mourad S.” DIGITAL DESIGN USING FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAYS”, Prentice Hall, 1994.

[37] Brown S., Rode J. "ARCHITECTURE OF FPGAS AND CPLDS: A TUTORIAL", IEEE Design and Test of Computers, vol. 13 No. 2, pp. 42-57, Junho, 1996.

[38] Brown S., Vranesic Z." FUNDAMENTALS OF DIGITAL LOGIC WITH VHDL DESIGN", McGraw-Hill Series in Computer Engineering, 2000.

[39] Brown S. "ROUTING ALGORITHMS AND ARCHITECTURES FOR FIELD-PROGRAMMABLE GATE ARRAYS", Department of Electrical Engineering - University of Toronto, CANADA. Doctor of Philosophy thesis, Janeiro, 1992.

[40] Actel, Corp.;" FPGA DATA BOOK AND DESIGN GUIDE "; 1995.

[41] Rose, J.; Gamal, A. E.; A. Sangiovanni-Vincentelli;" ARCHITECTURE OF FIELD- PROGRAMMABLE GATE ARRAYS "; In Proceedings of the IEEE; vol. 81, no. 7, pp. 1013-1029; Julho de 1993.

[42] "CONTROLE MICROPROCESSADO DE UM CONVERSOR DIRETO DE FREQUENCIA, OPERANDO COMO RETIFICADOR NOS QUATRO QUADRANTES", DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Adail Pereira Carvalho, Uberlândia 1995.

[43] Nize, S., Norman, "ENGENHARIA DE SISTEMAS DE CONTROLE", 3ª edição, 2002, LTC Editora.

[44] Mello, L.F.P. "ANÁLISE E PROJETO DE FONTES CHAVEADAS", 9ª. Edição, Editora Érica, São Paulo, 2000.

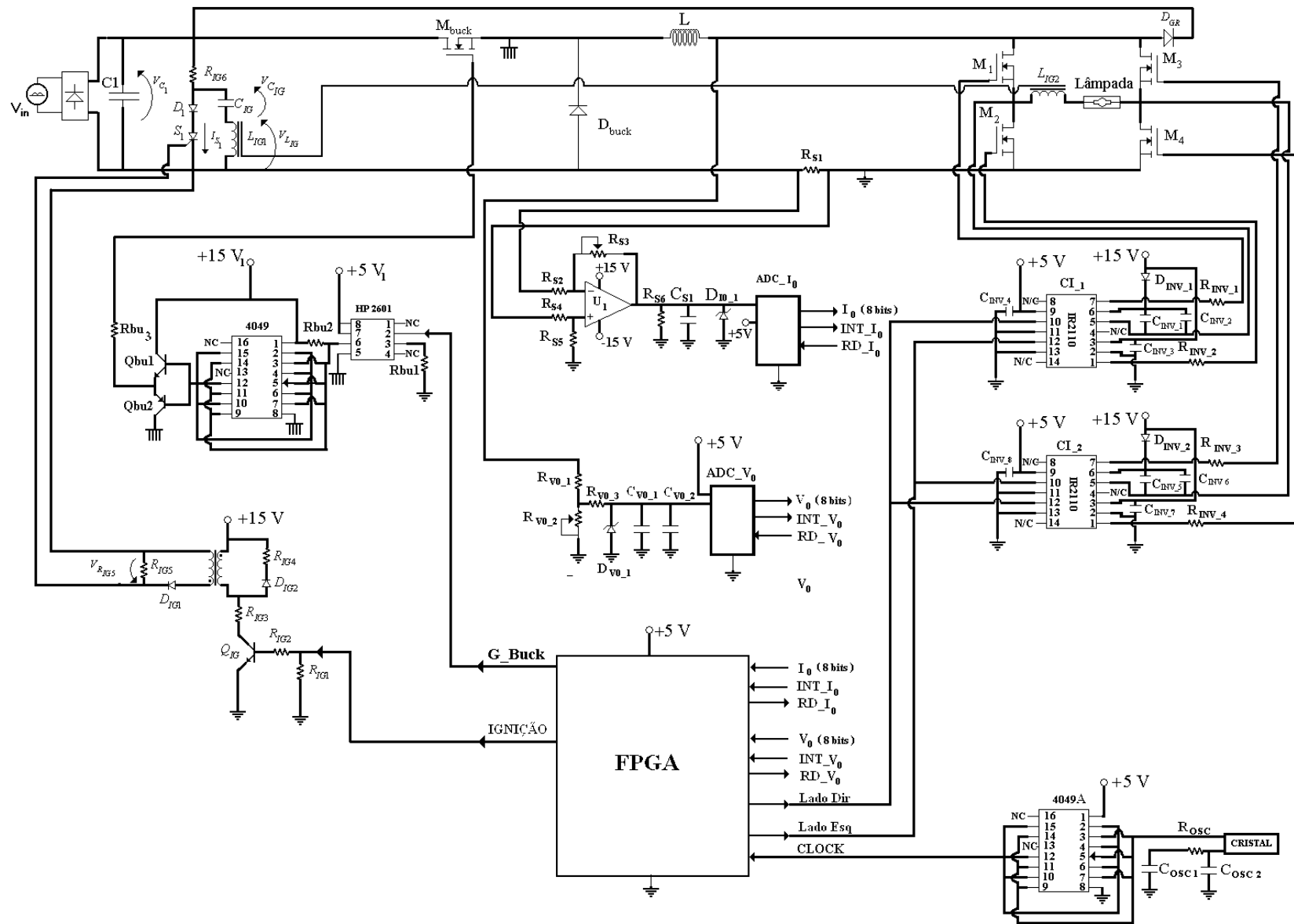
[45] Sießegger, B., GULDNER, H., HIRSHMAN, G., "IGNITION CONCEPTS FOR HIGH FREQUENCY OPERATED HID LAMPS", IEEE 36th. Annual Power Electronics Specialists Conference, 2005, pp. 1500-1506.

[46] Fellows, M. W. "COMPARISON OF OPERATING CHARACTERISTICS OF CERAMIC METAL HALIDE LAMPS ON ELECTRONIC, MAGNETIC AND REFERENCE BALLASTS." Journal of the Illuminating Engineering Society, summer 2000

.

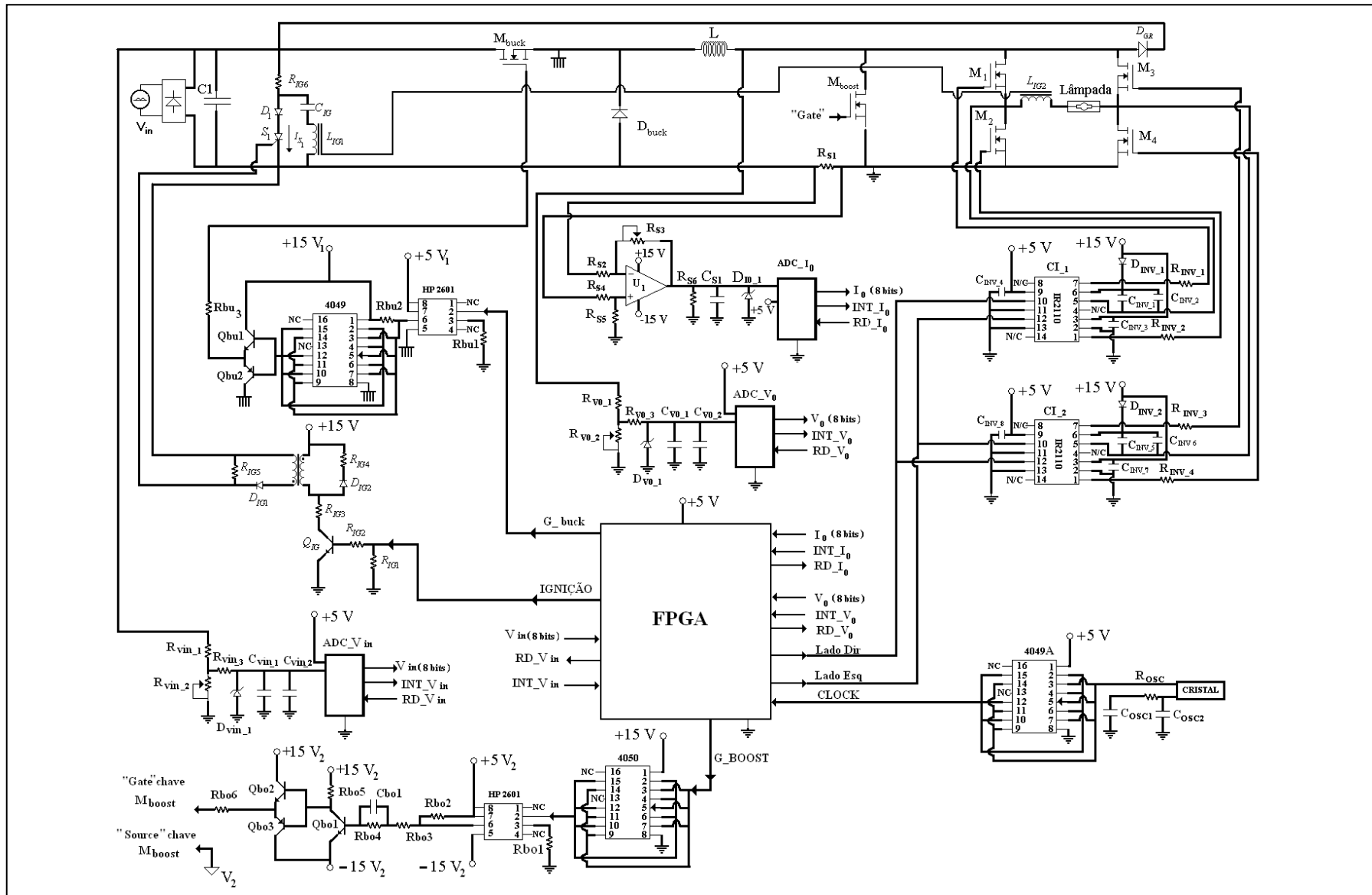
APÊNDICE

“A”



REATOR ELETRÔNICO UTILIZANDO O CONVERSOR “BUCK

APÊNDICE “B”

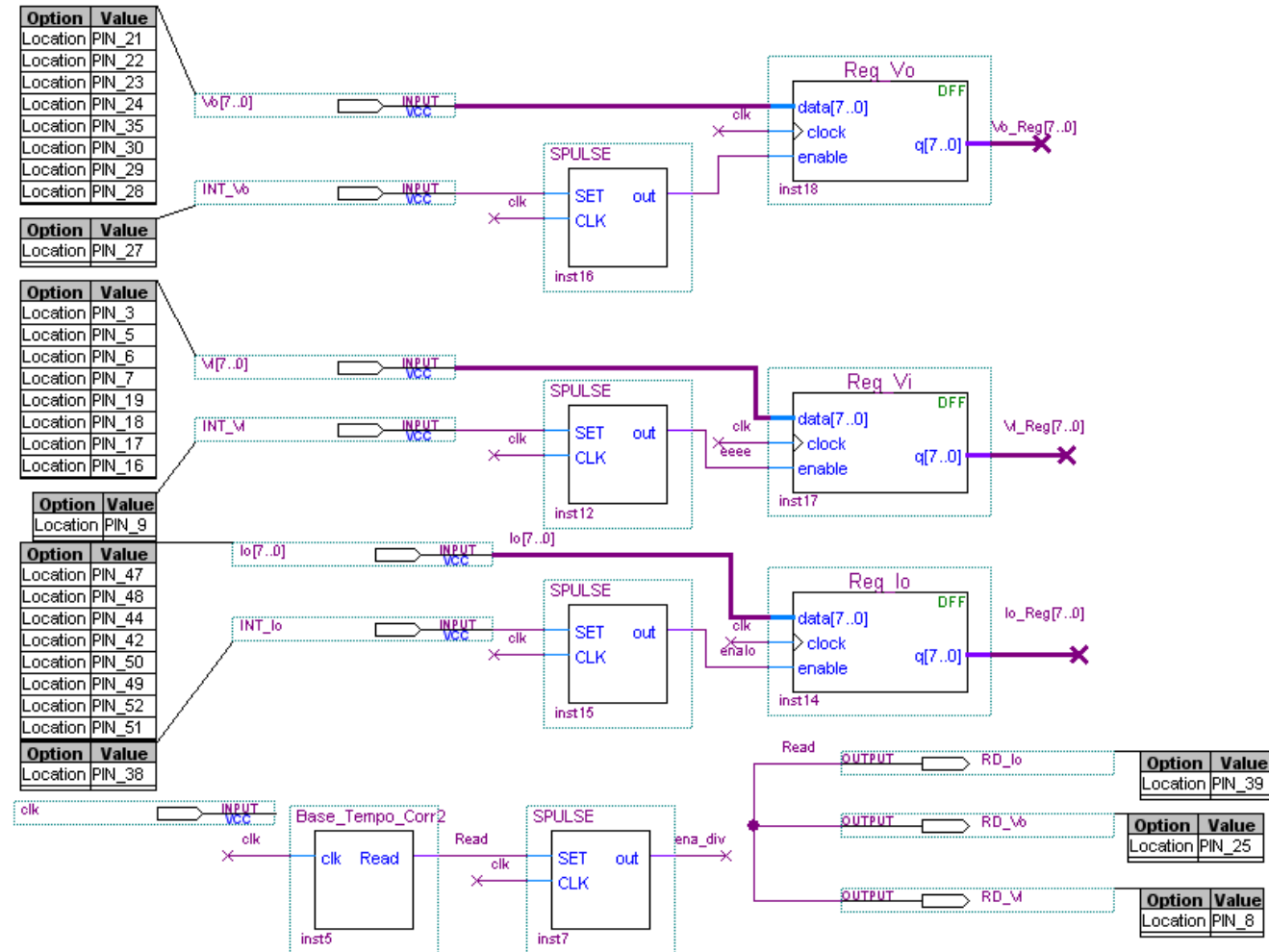


REATOR ELETRÔNICO UTILIZANDO O CONVERSOR “BUCK+BOOST” EM CASCATA

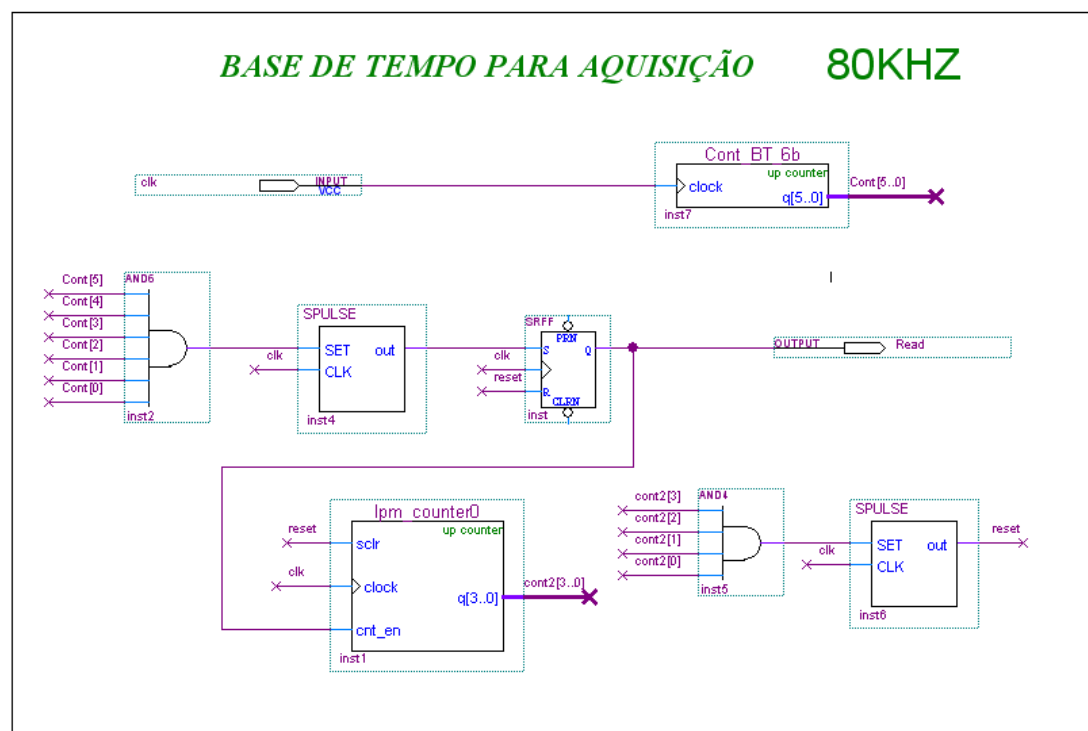
APÊNDICE

“C”

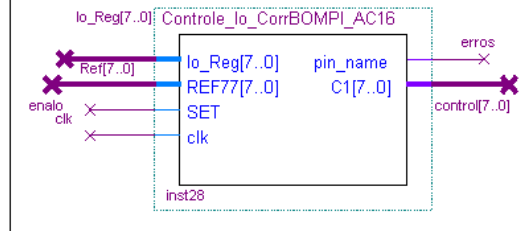
AQUISIÇÃO DE DADOS



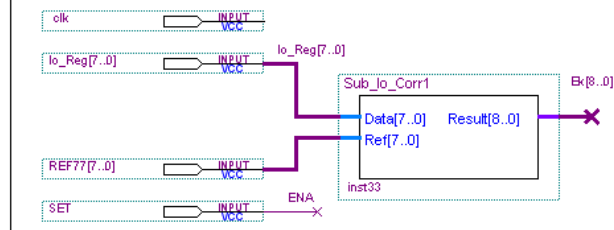
CONTINUAÇÃO AQUISIÇÃO DE DADOS



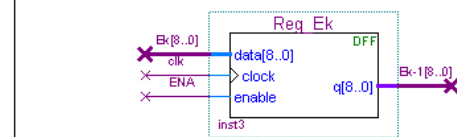
PI DIGITAL



Calculo do Erro atual e_k



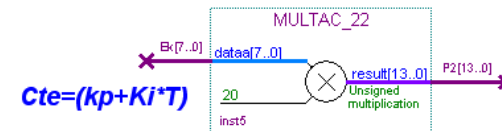
Calculo do Erro anterior $e(k-1)$



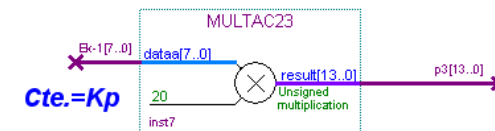
Equação discreta do PI :

$$Ck = [Ck-1] + [(kp+ki*T)*ek-1] - [kp*ek]$$

Calculo da parcela2 : $P2 = (kp+Ki*T)*ek$

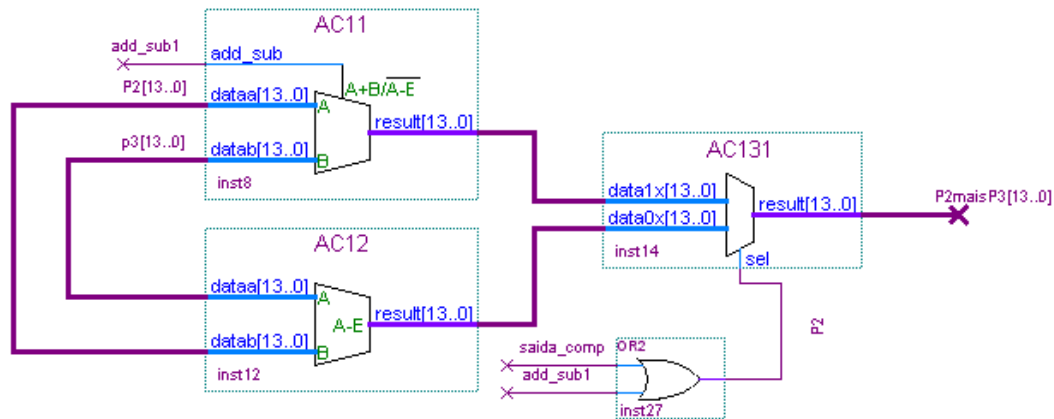


Calculo da parcela3: $P3 = Kp*e(k-1)$

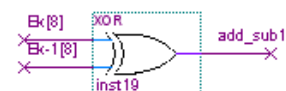


Continuação do Cálculo do PI

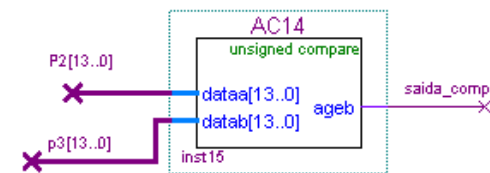
Calculo de P2+P3



Compara Sinais dos erros
Sinais iguais : $add_sub1=0$ SUBT
Sinais Diferentes : $add_sub1=1$ SOM

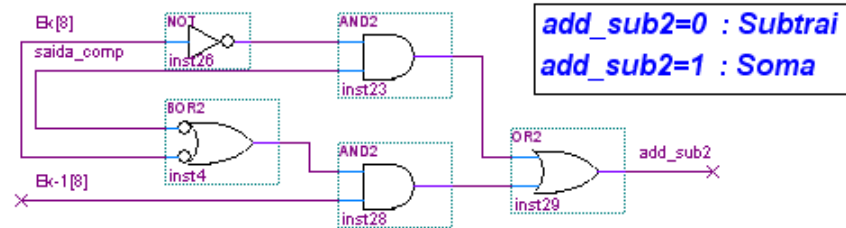


Compara Modulo de P2 e P3

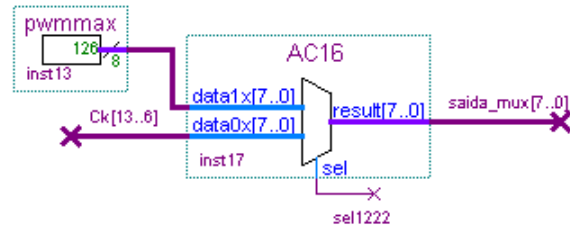


$$\text{Calculo de } C_k = C(k-1) + [P2+P3]$$

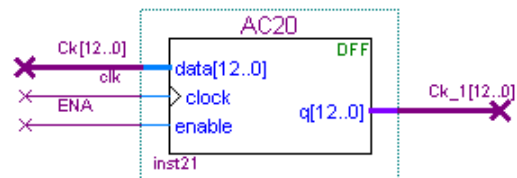
Calculo do sinal da operação



Calculo do limite máximo de Ck

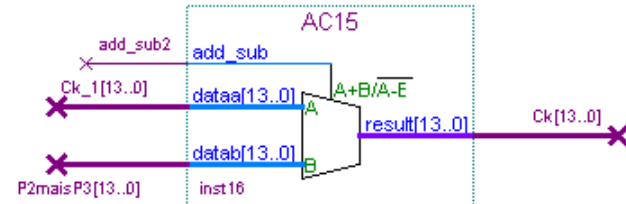


Calculo de C(k-1)

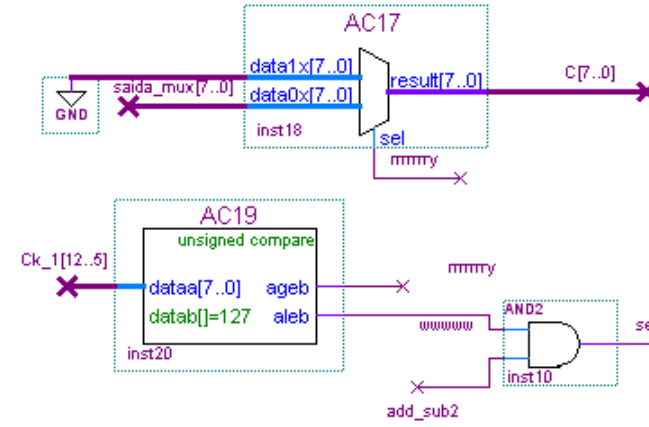


Continuação do Cálculo do PI

Calculo de Ck



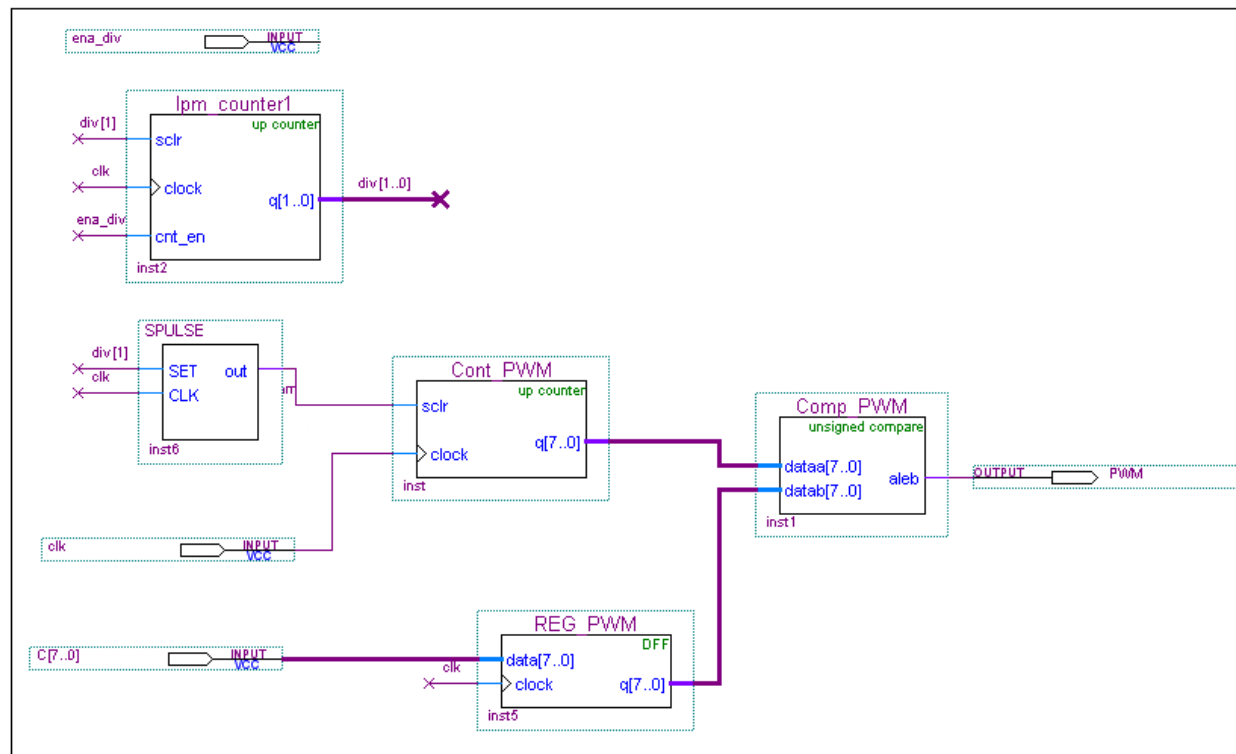
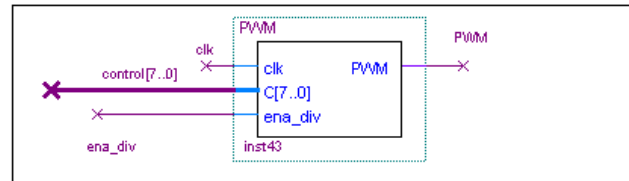
Calculo do limite mínimo de Ck

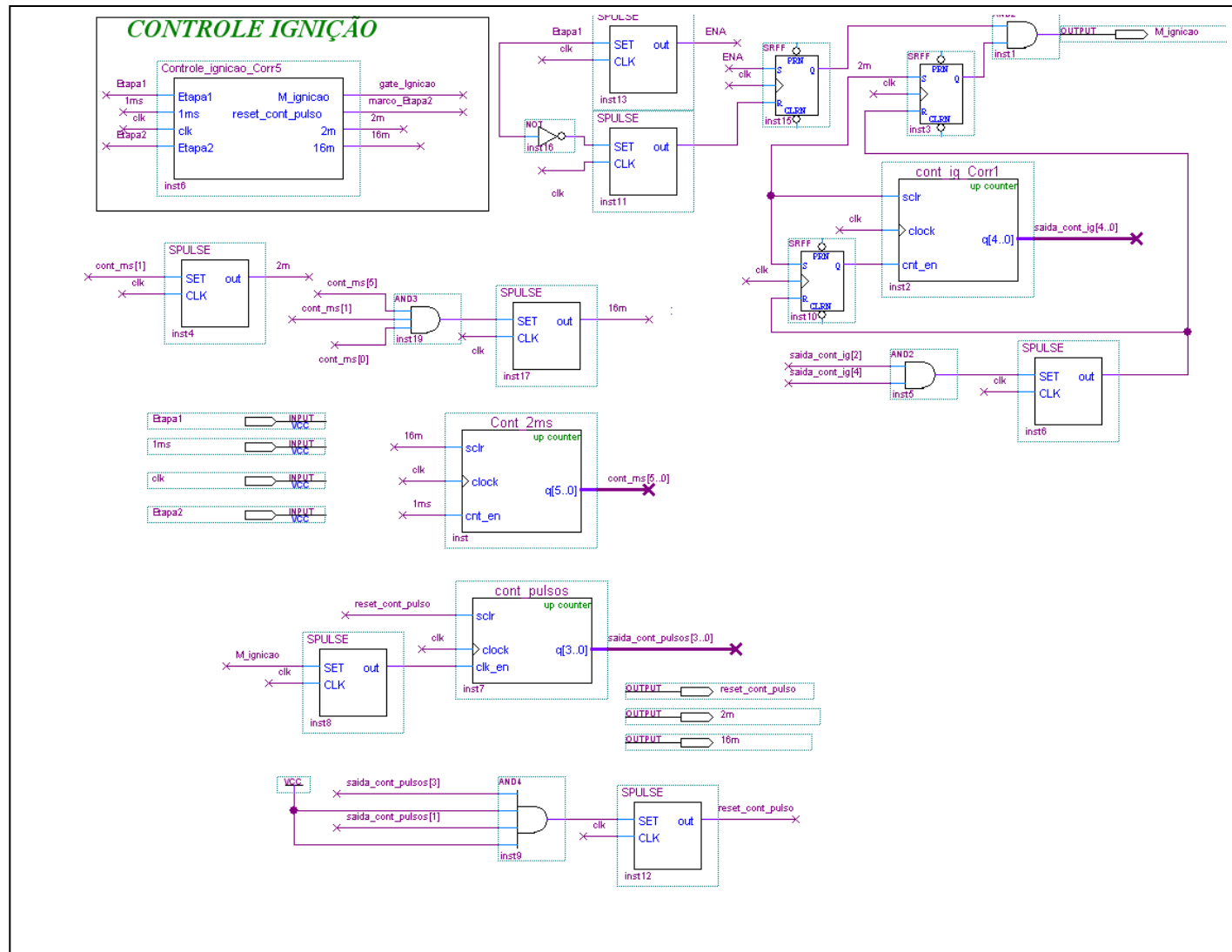


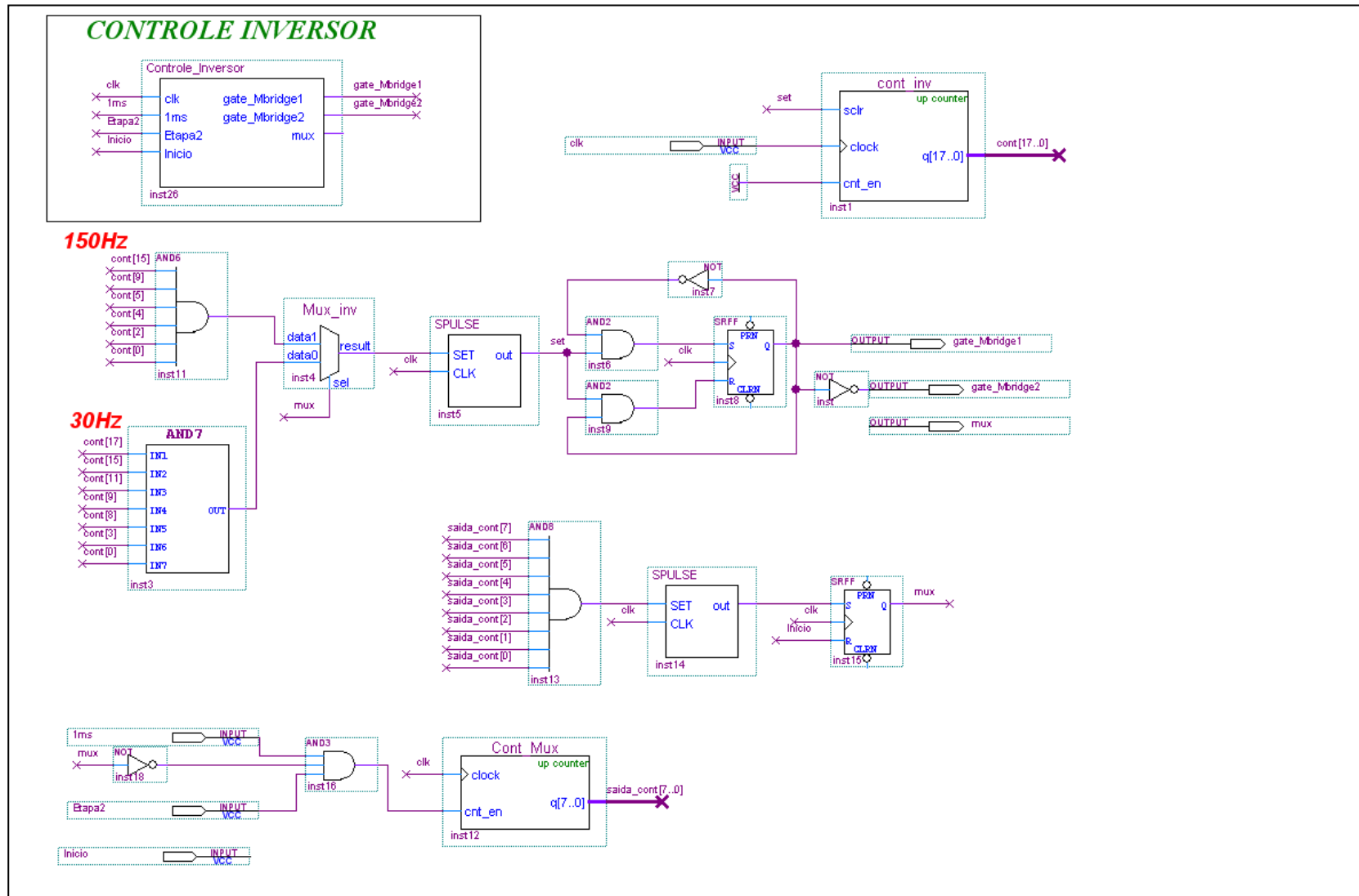
Saida do PI



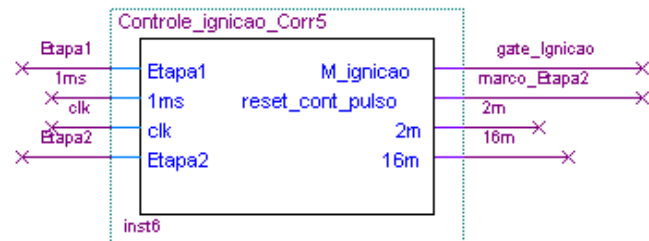
PWM DIGITAL





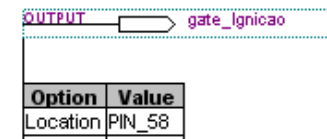


CONTROLE IGNIÇÃO

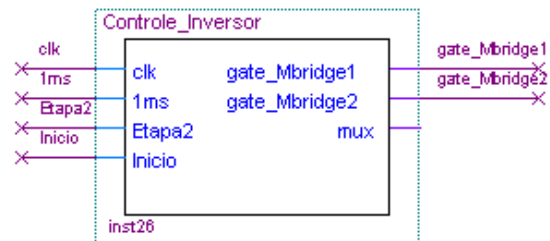


P/ DRIVE

TIRISTOR

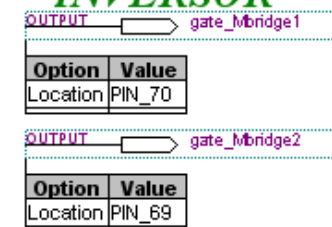


CONTROLE INVERSOR

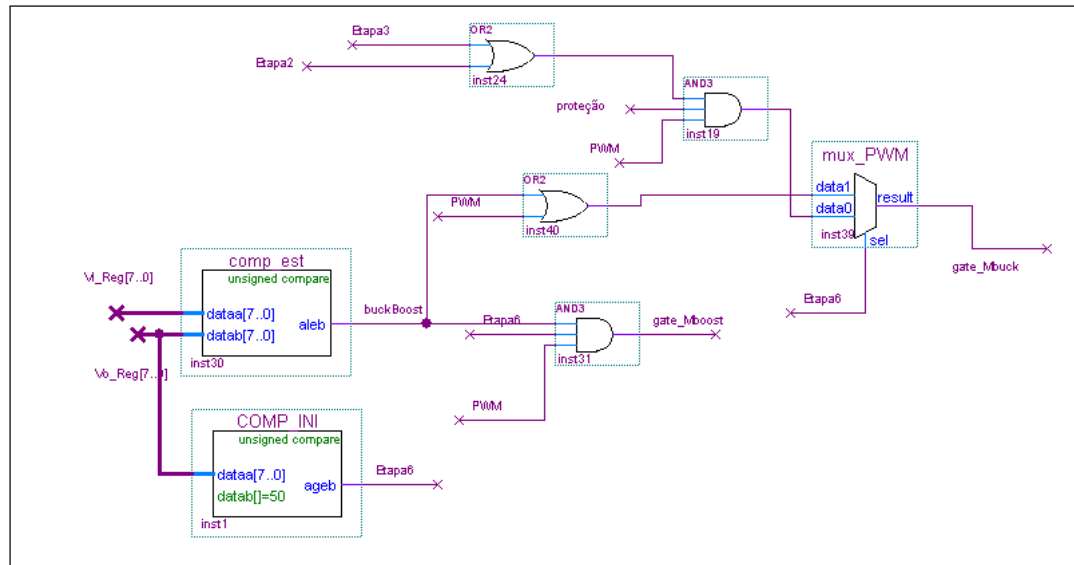


P/ DRIVE

INVERSOR



Comparação para Atuação dos Conversores



*P/ DRIVE
MOSFET
Mbuck*

OUTPUT → gate_Mbuck

Option	Value
Location	PIN_54

*P/ DRIVE
MOSFET
Mboost*

OUTPUT → gate_Mboost

Option	Value
Location	PIN_53

Proteção Sobrecorrente

