

PEA3502 LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

RETIFICADOR MONOFÁSICO EM PONTE CONTROLADO

W. KAISER 06/2020

1. OBJETIVOS

Estudo do funcionamento de uma ponte monofásica controlada utilizando um circuito integrado monolítico para controle do ângulo de disparo dos tiristores.

2. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO DE ACIONAMENTO E CONTROLE

O retificador a ser analisado nesta experiência utiliza o circuito integrado TCA 785 para realizar as funções de controle e disparo dos tiristores cujo, diagrama de blocos com as funções essenciais é mostrado na Fig. 1 e as formas de onda típicas encontram-se na Fig. 2.

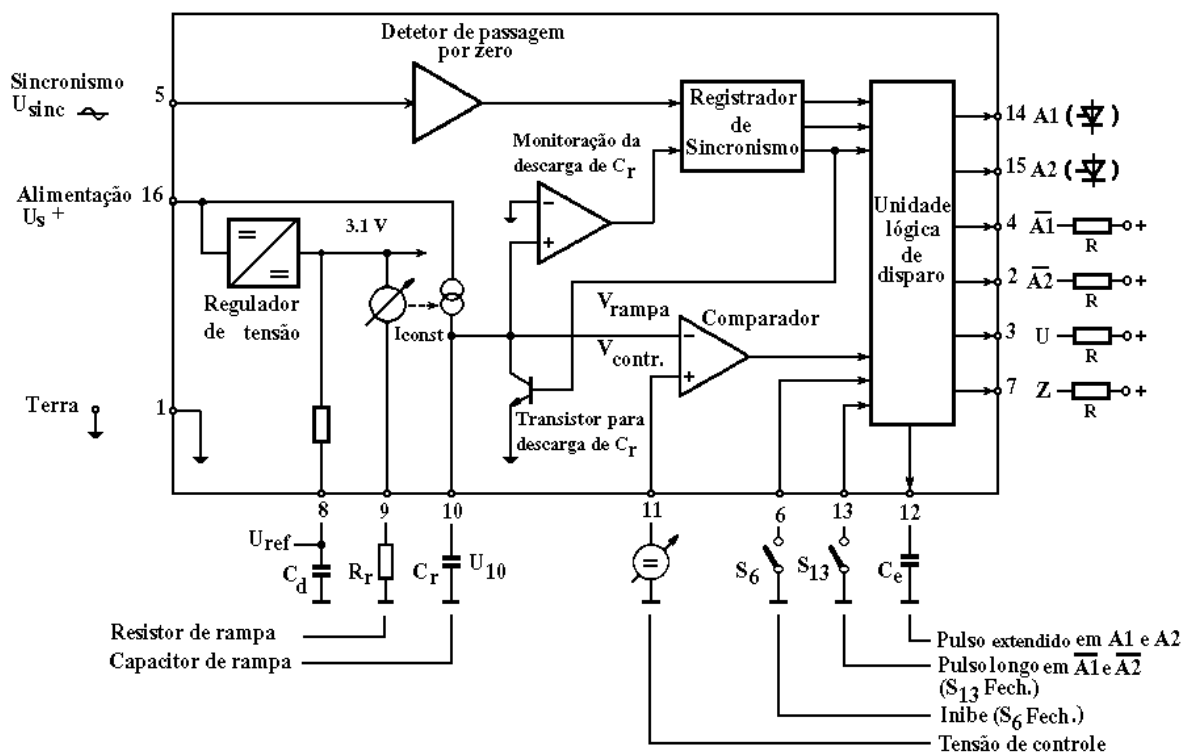


Fig 1 - Diagrama de blocos do circuito integrado TCA 785

A partir da seleção externa do ponto de chaveamento, a estrutura do integrado oferece diversas opções de funcionamento (acionamento para controlador CA, para retificadores controlados e semi-controlados) com um número reduzido de componentes externos.

O integrado possui um regulador de tensão interno de 3.1 V, que torna a sua operação independente da tensão de alimentação dentro de uma faixa de 8 a 18 VCC. A tensão positiva deve ser aplicada ao pino 16 e o pino 1 deve estar ligado ao potencial de referência ou terra. A tensão regulada é levada ao pino 8 através de uma resistência de desacoplamento interna. Em

circuitos retificadores, onde são usados mais de um CI do tipo TCA 785 (retificadores trifásicos), estes pontos devem ser interligados de forma a se obter ângulos de disparo iguais em todas as fases. Para supressão de sinais espúrios, é conveniente a inserção de um capacitor entre o pino 8 e terra.

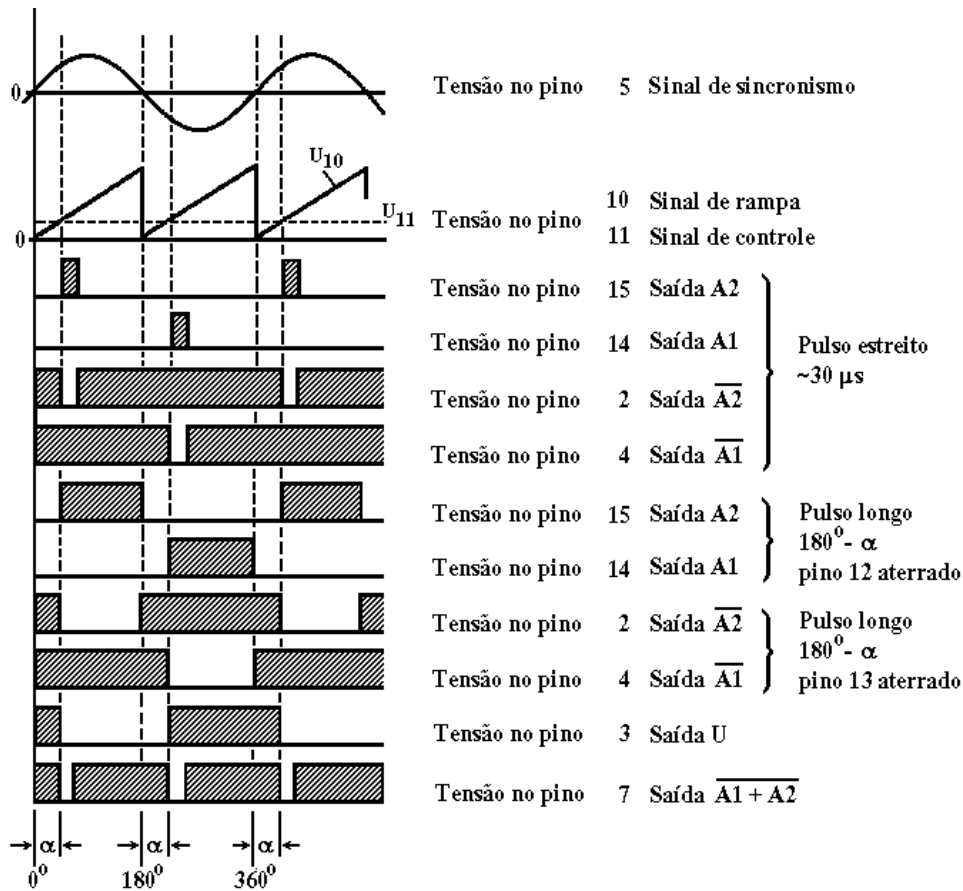


Fig. 2 - Formas de onda típicas do circuito integrado TCA 785

A tensão de sincronismo CA é aplicada entre o pino 5 e o pino 1, este último previamente aterrado. O sincronismo é obtido através de um detector de passagem por zero de elevada sensibilidade seguido de um registrador que determina o início e final de um sinal em forma de rampa obtido de um gerador de dente de serra. O gerador de dente de serra (cujo controle está na unidade lógica) consiste essencialmente de uma fonte controlada de corrente constante, que carrega um capacitor externo C_r , não superior a 0.5 μF (pino 10). A corrente desta fonte é determinada por uma resistência externa R_r de 20 kΩ a 500 kΩ (pino 9). A combinação $R_r C_r$ determina a inclinação da tensão de rampa no pino 10.

O sinal de rampa (pino 10) é habilitado por um transistor interno ao CI. O registrador de sincronismo somente transmite a informação do detector de zero para a lógica de disparo quando for habilitado pelo circuito de monitoração da descarga do capacitor de rampa.

A tensão de controle é aplicada entre os pinos 11 e 1, este último previamente aterrado. O seu valor é comparado com a tensão de rampa (pino 10) através do "comparador de controle", determinando o início do ângulo de disparo α . A unidade lógica determina a posição e a duração dos sinais enviados aos gatilhos, os quais são positivos em relação ao terra.

As duas saídas principais do controlador A1 (pino 14) e A2 (pino 15) utilizam uma configuração de seguidor de emissor e conseguem drenar uma corrente de até 55 mA. Cada uma delas é comandada pela tensão de sincronismo do semiciclo correspondente, ou seja, na saída A1 (A2) só estarão presentes pulsos, se a tensão de sincronismo for negativa (positiva).

Existem ainda duas saídas complementares A1 (pino 4) e A2 (pino 2), que correspondem ao inverso dos sinais A1 e A2 respectivamente, dispostas em coletor aberto e que suportam uma corrente máxima de 1.5mA.

Nas saídas A1 e A2 são gerados pulsos com duração de aproximadamente 30 μ s (pulso estreito), cuja largura pode ser alterada através da conexão de um capacitor externo ao pino 12. Com pino 12 aterrado resulta um pulso de largura $\beta = 180^\circ - \alpha$ (pulso longo).

O integrado possui ainda duas saídas auxiliares U (pino 3) e Z (pino 7) ligadas em coletor aberto. A saída U fornece um sinal semelhante a A1, mas com largura constante $\beta = 180^\circ$. A saída Z é a soma lógica "NOR" das funções A1 e A2, ou seja, $\overline{A1 + A2}$.

Todas as saídas podem ser inibidas através do pino 6, conectando-o à terra através de uma chave, relé ou transistor.

3. PARTE PRÁTICA

A Fig. 3 apresenta o diagrama da ponte monofásica controlada a ser alimentada pela tensão de linha \underline{u} \underline{v} de 34,5 V_{CA} fornecida pela fonte de alimentação CA trifásica disponível no laboratório didático.

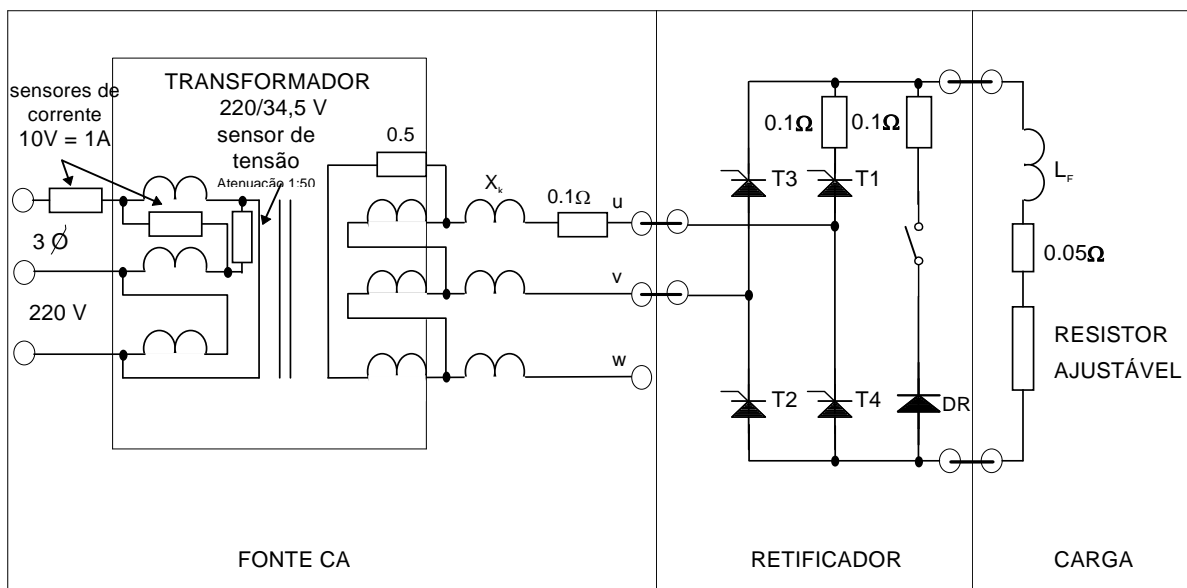


Fig. 3 - Esquema de ligação do retificador em ponte monofásica controlada

O diagrama esquemático completo do circuito de acionamento e controle do retificador encontra-se na Fig. 4. Note que os módulos de fonte e do retificador controlado devem ser interligados através de um conector apropriado disponível na base dos arranjos onde encontram-se disponíveis o sinal de sincronismo CA e a tensão de alimentação de 15 V_{CC} para o circuito integrado.

Como carga deverá ser utilizado o módulo disponível que permite a implementação de cargas resistivas e resistivo-indutivas.

A parte prática é dividida em duas partes: a) análise dos sinais do circuito integrado TCA 785 e b) medições numa ponte monofásica controlada.

EXPERIÊNCIA Nº 3

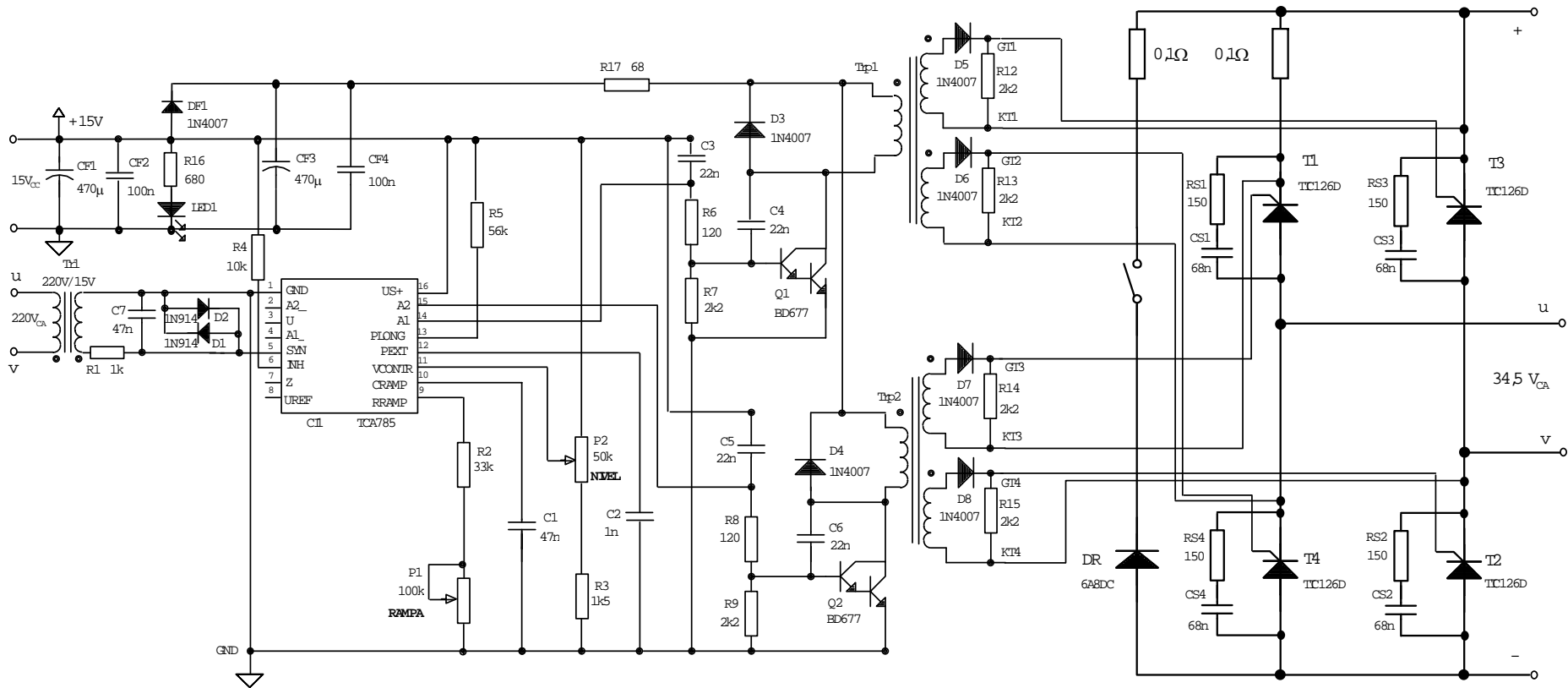


Fig. 4 - Esquema do circuito de acionamento de uma ponte monofásica utilizando o circuito integrado TCA 785

3.1. Medições dos sinais de controle do CI TCA 785

O módulo retificador foi alimentado pelas fase **u** e **v** com tensão de linha de 36 V_{CA} e desconectado do módulo de carga. O potenciômetro da rampa foi ajustado de forma a obter no pino 10 uma rampa perfeita sem saturação da borda superior e o potenciômetro da tensão de controle foi ajustado em uma posição intermediária.

As formas de onda registradas nos pinos 5 (sincronismo), 10 (rampa), 11 (controle), 14 (pulso 1) e 15 (pulso 2) encontram-se no **ANEXO 1**.

3.2. Medições dos sinais no circuito de potência da ponte monofásica controlada

O valor eficaz da tensão de linha em vazio medido foi de 36 V. O valor de pico da corrente de curto circuito entre duas fases na fonte de alimentação CA medido foi de 5 A.

3.2.1. Carga resistiva (Corrente CC descontínua)

Mantendo o diodo de retorno **Dr** fora do circuito (**chave na posição OFF**), foi conectada uma carga resistiva de 30 Ω na saída do retificador e ajustado um ângulo de disparo de $\alpha=30^\circ$ (lembrando que o ângulo de disparo é medido a partir da passagem por zero da tensão CA de linha). Nas formas de onda registradas foram adotadas as polaridades da indicadas na Fig. 5 e uma reprodução dos registros encontra-se no **ANEXO 2**.

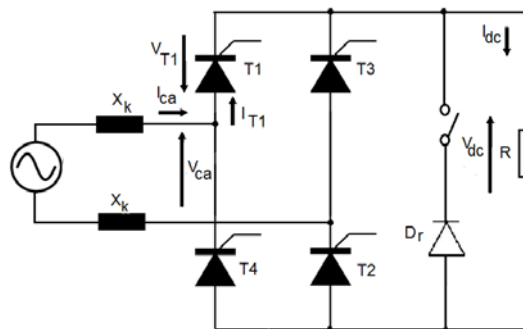


Fig. 5 - Esquema do circuito simplificado do retificador monofásico com carga resistiva.

3.2.2 Carga resistivo-indutiva sem diodo de retorno

Mantendo o diodo de retorno **Dr** fora do circuito (**chave na posição OFF**), foi conectada uma carga resistiva de 30 Ω na saída do retificador e ajustado um ângulo de disparo de $\alpha=30^\circ$. Nas formas de onda registradas foram adotadas as polaridades da indicadas da Fig. 6 e uma reprodução dos registros encontra-se **ANEXO 2**.

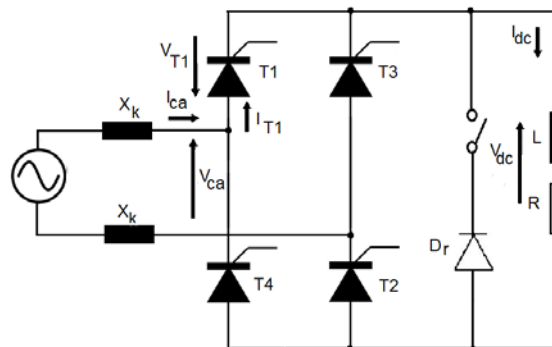


Fig. 6 - Esquema do circuito simplificado do retificador monofásico com carga resistivo indutiva.

Mantendo o mesmo ângulo de disparo de $\alpha=30^\circ$, foram registradas as formas de onda de tensão e corrente CA um resistor de carga de $20\ \Omega$ e em seguida para $70\ \Omega$. As formas de onda obtidas encontram-se nas Figs. A2.8 a A2.11.

Retornando o resistor de carga para $30\ \Omega$ e, monitorando a corrente de carga, incrementou-se o ângulo de disparo até que a corrente de carga instantaneamente passasse por zero. A resistência equivalente da carga, incluindo as perdas no indutor de filtro, foi de $31.5\ \Omega$. As formas de onda de tensão e corrente CA obtidas encontram-se na Fig. A2.12.

Em seguida registrou-se a forma de onda da tensão sobre o tiristor T1 para um valor de α ligeiramente acima de α_c . As formas de onda das tensões CA e sobre o tiristor T1 encontram-se na Fig. A2.13.

3.2.3 Carga resistivo -indutiva com diodo de retorno

Mantendo a carga RL com $R=30\ \Omega$, foi inserido o diodo de retorno no circuito (**chave na posição ON**) e elevou-se o ângulo de disparo para $\alpha=70^\circ$. Nas formas de onda registradas foram adotadas as polaridades da indicadas da Fig. 7 e uma reprodução dos registros encontra-se ANEXO 2.

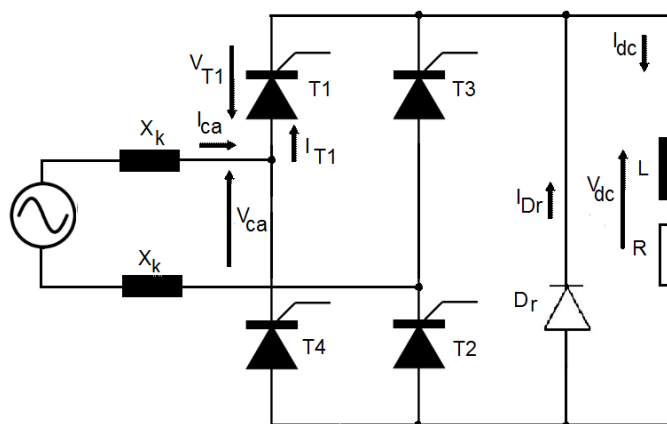


Fig. 7 - Esquema do circuito de do retificador monofásico com diodo de retorno e carga resistivo.

4. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES E CÁLCULO DE PARÂMETROS

- 4.1. Identificar os ângulos de disparo e de comutação nas formas de onda nas quais possam ser observados.
- 4.2. Explicar trecho a trecho o comportamento da forma de onda da tensão sobre o tiristor para as diversas condições de carga:
 - carga resistiva;
 - carga RL sem diodo de retorno para $\alpha < \alpha_c$;
 - carga RL sem diodo de retorno para $\alpha > \alpha_c$;
 - carga RL com diodo de retorno para $\alpha > \alpha_c$.
- 4.3. Explicar cada uma das descontinuidades observadas na tensão de linha CA para as diversas condições de carga.
- 4.4. Discutir a variação de μ (α mantendo constante) para os três valores de resistência $20\ \Omega$, $30\ \Omega$ e $70\ \Omega$.

- 4.5. Medir o valor do ângulo crítico α_c , que determina o limite de continuidade da corrente na carga. Comparar o valor medido com o valor teórico dado pela fórmula abaixo.

$$\alpha_c = \tan^{-1}[\omega L / R]$$

- 4.6. A partir da forma de onda da corrente no diodo de retorno, calcular o valor da indutância da carga e comparar com o valor de projeto.
- 4.7. Identificar o ângulo de disparo (α) e o(s) ângulo(s) de comutação (μ) nas formas de onda de tensão e corrente na linha com diodo de retorno. Por que há mais de um ângulo de comutação?
- 4.8. Comparar as condições de operação com e sem diodo de retorno. Por que o diodo de retorno garante continuidade de corrente na carga para qualquer valor de α ?
- 4.9. Adotando os valores normalizados $E = E_{cc}/E_o$ e $I = I_{cc}/I_s$

Sendo: E_o a tensão nos terminais do retificador em vazio (sem carga)

E_{cc} o valor médio da tensão na carga

I_s o valor de pico da corrente de curto circuito entre fases da fonte CA

I_{cc} o valor médio da tensão na carga

Deduzir as seguintes relações para o retificador monofásico controlado.

- a) $E_{cc} = f_1(E_o, X_k, \alpha, I_{cc})$
 - b) $E = f_2(\alpha, \mu)$
 - c) $I = f_3(\alpha, \mu)$
 - d) $E = f_4(I, \alpha)$
- 4.10. Esquematizar um retificador monofásico totalmente controlado, incluindo uma proteção de sobrecorrente. Esta proteção deve ser retentiva, ou seja, ela deve permanecer atuada, mesmo que, após a sua ativação, a corrente tenha atingido níveis mais baixos. Para tanto, utilize as características de controle do integrado TCA 785. A proteção deve desligar o retificador, atuando convenientemente nos pulsos de gatilho, quando a corrente na carga ultrapassar um valor I_{max} ajustável.

RELATÓRIO

O relatório deverá ser individual e obedecer a sequência indicada no item 4 e não deverá conter introdução teórica.

- i) Nos cálculos e nas análises sempre informar de quais registros as informações foram obtidas.
- ii) Identificar nos registros as grandezas que foram utilizadas nos cálculos.
- iii) Informar as hipóteses e modelos adotados nas deduções e nos cálculos.
- iv) Os valores numéricos (utilizar até duas decimais) utilizados nas fórmulas devem estar explicitados.
- v) O relatório deve conter comentários sobre eventuais desvios observados em relação às formas de onda previstas pela teoria.
- vi) O relatório deve ser entregue em formato PDF.

Anexo 1 – REGISTROS DE FORMAS DE ONDA DO CI TCA765

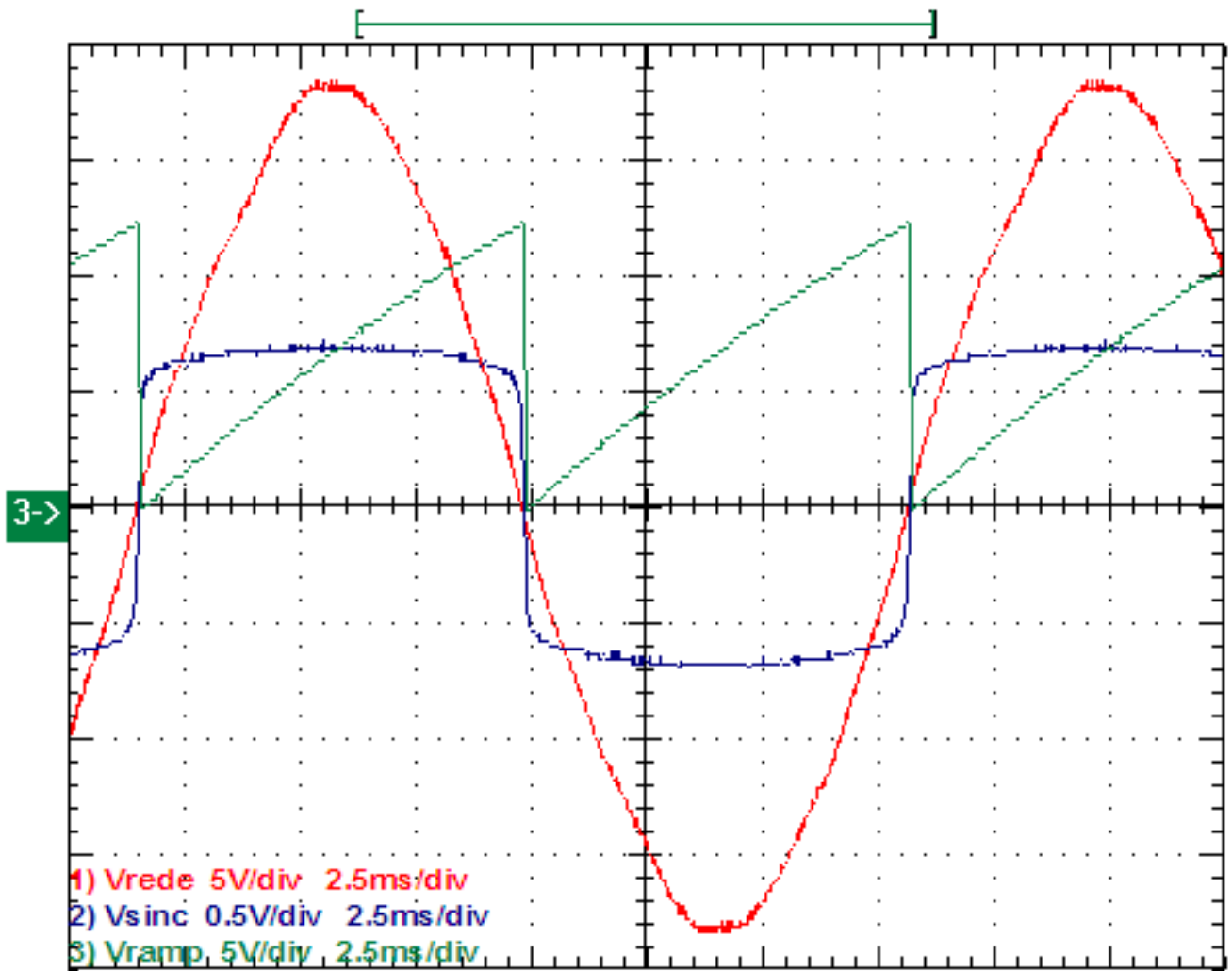


Fig. A1.1 – Tensão CA e sinais nos pinos 5 (sincronismo) e 10 (rampa), 11 (controle), 14 (pulso 1) e 15 (pulso 2)

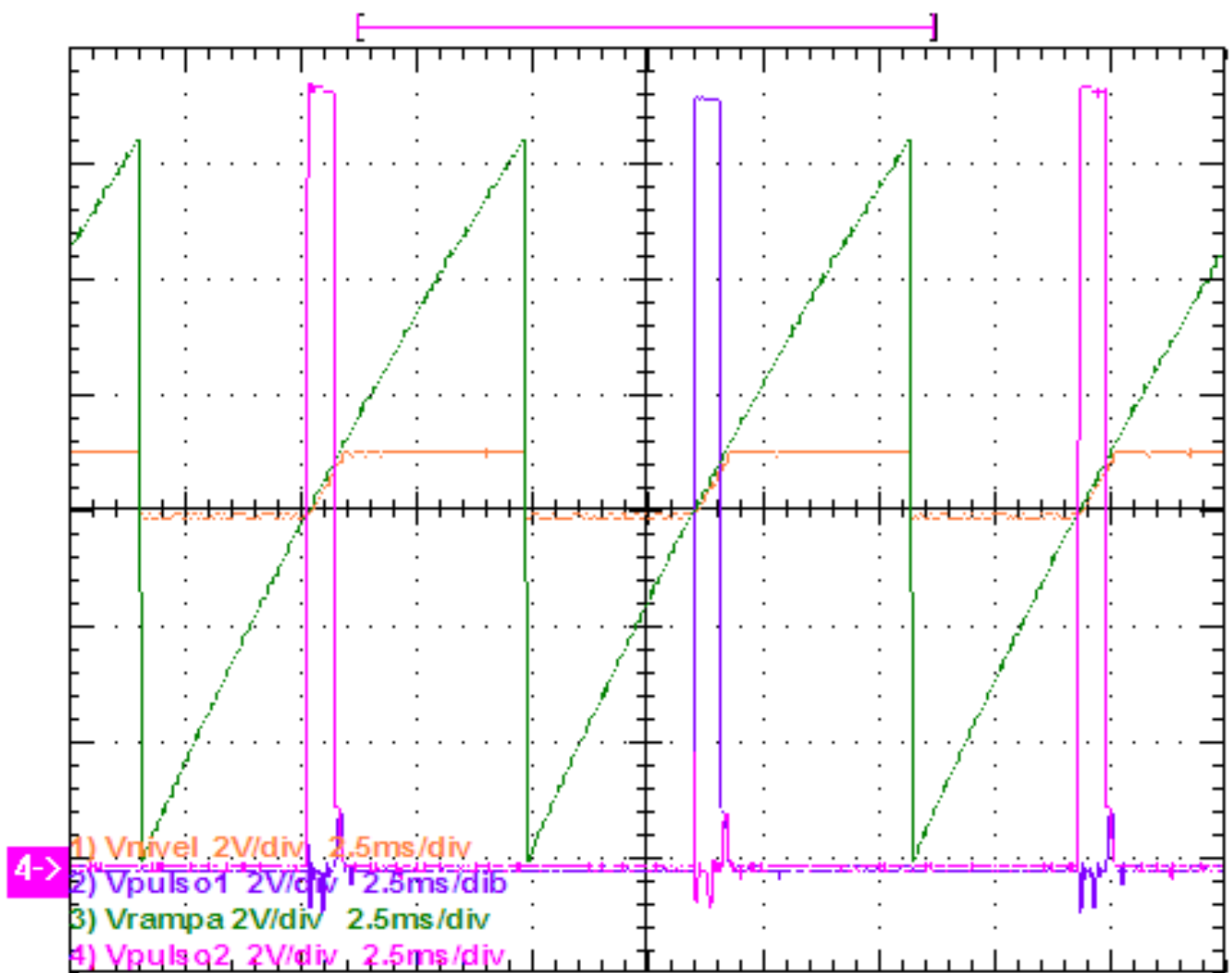


Fig. A1.2 – Sinais nos pinos 10 (rampa), 11 (controle), 14 (pulso 1) e 15 (pulso 2)

Anexo 2 – REGISTROS DE FORMAS DE ONDA DO RETIFICADOR MONOFÁSICO CONTROLADO

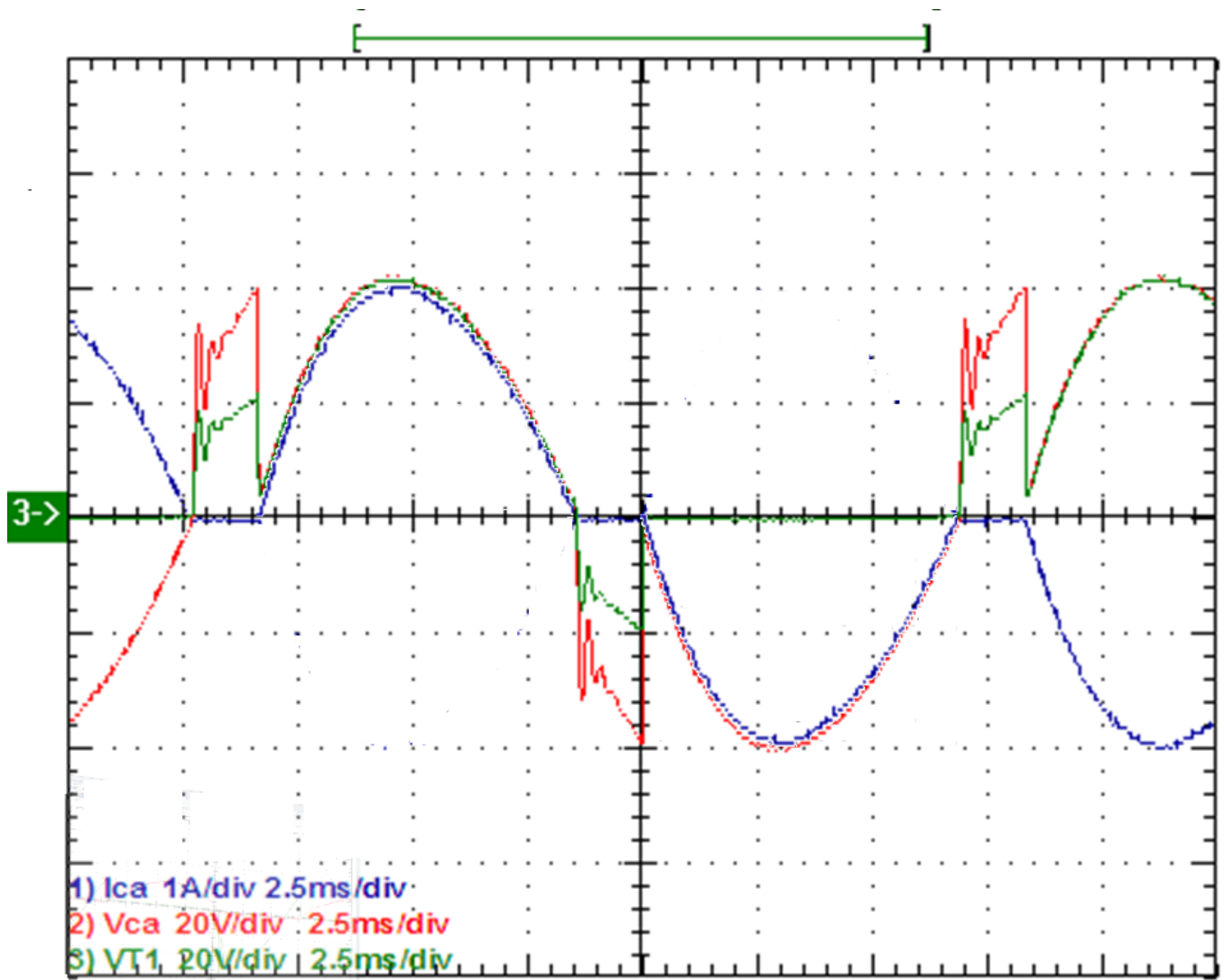


Fig. A2.1 – Tensão e corrente CA e tensão sobre o tiristor T1 - carga $R=30\ \Omega$ pura e $\alpha=30^\circ$

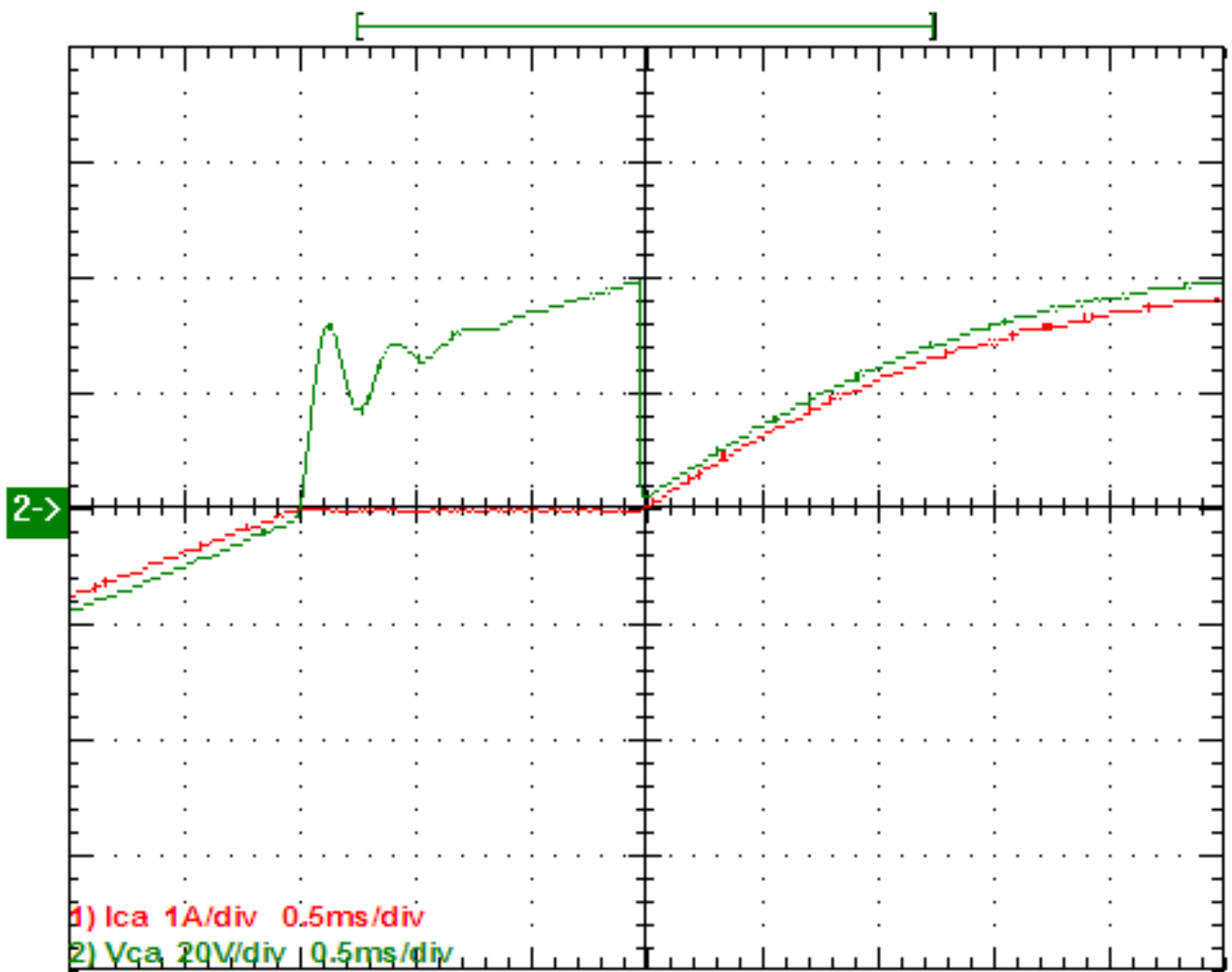


Fig. A2.2 –Tensão e corrente CA com escala de tempo expandida- carga $R=30\ \Omega$ pura e $\alpha=30^\circ$

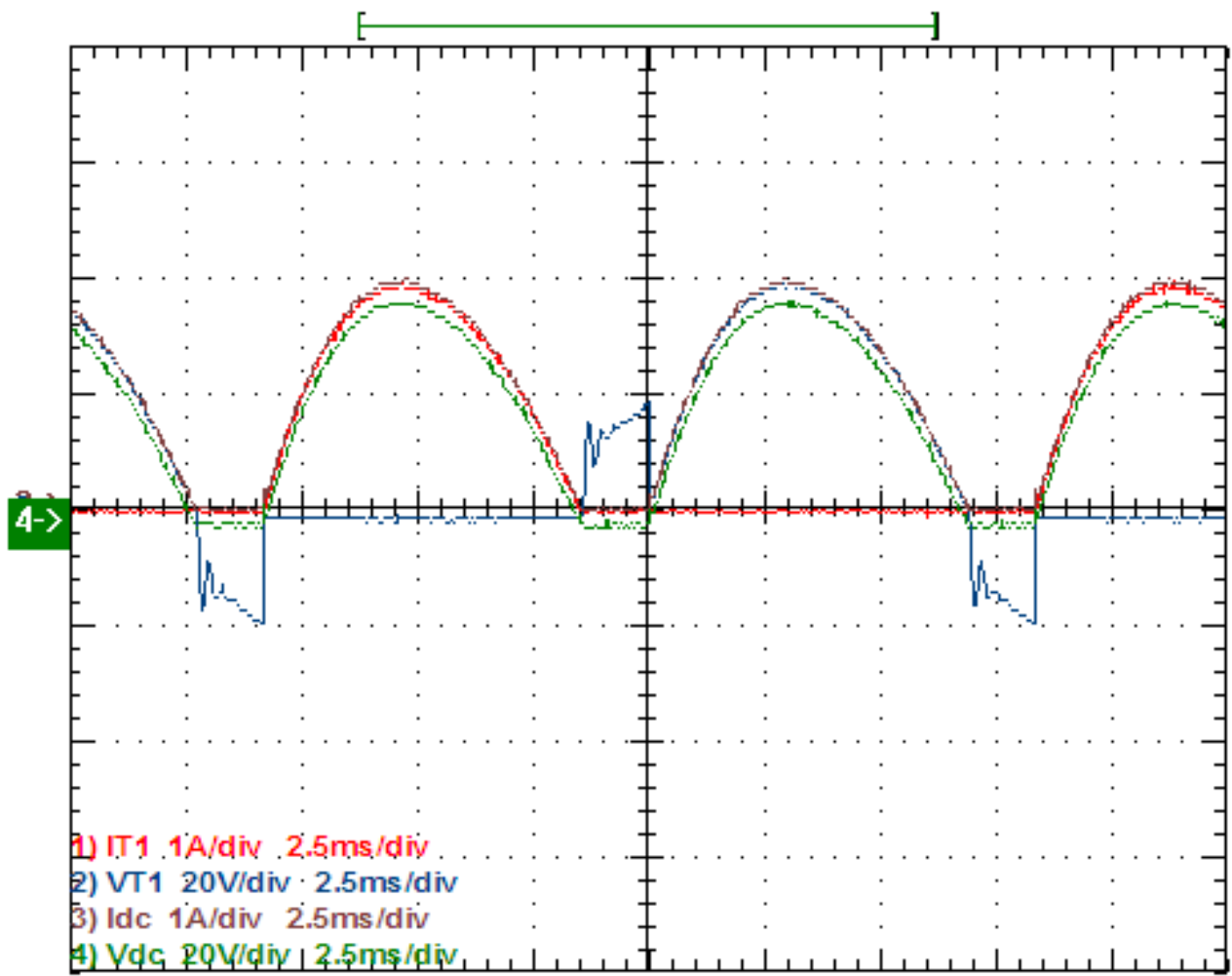


Fig. A2.3 –Tensão e corrente no tiristor T1 e na carga - carga $R=30\ \Omega$ pura e $\alpha=30^\circ$

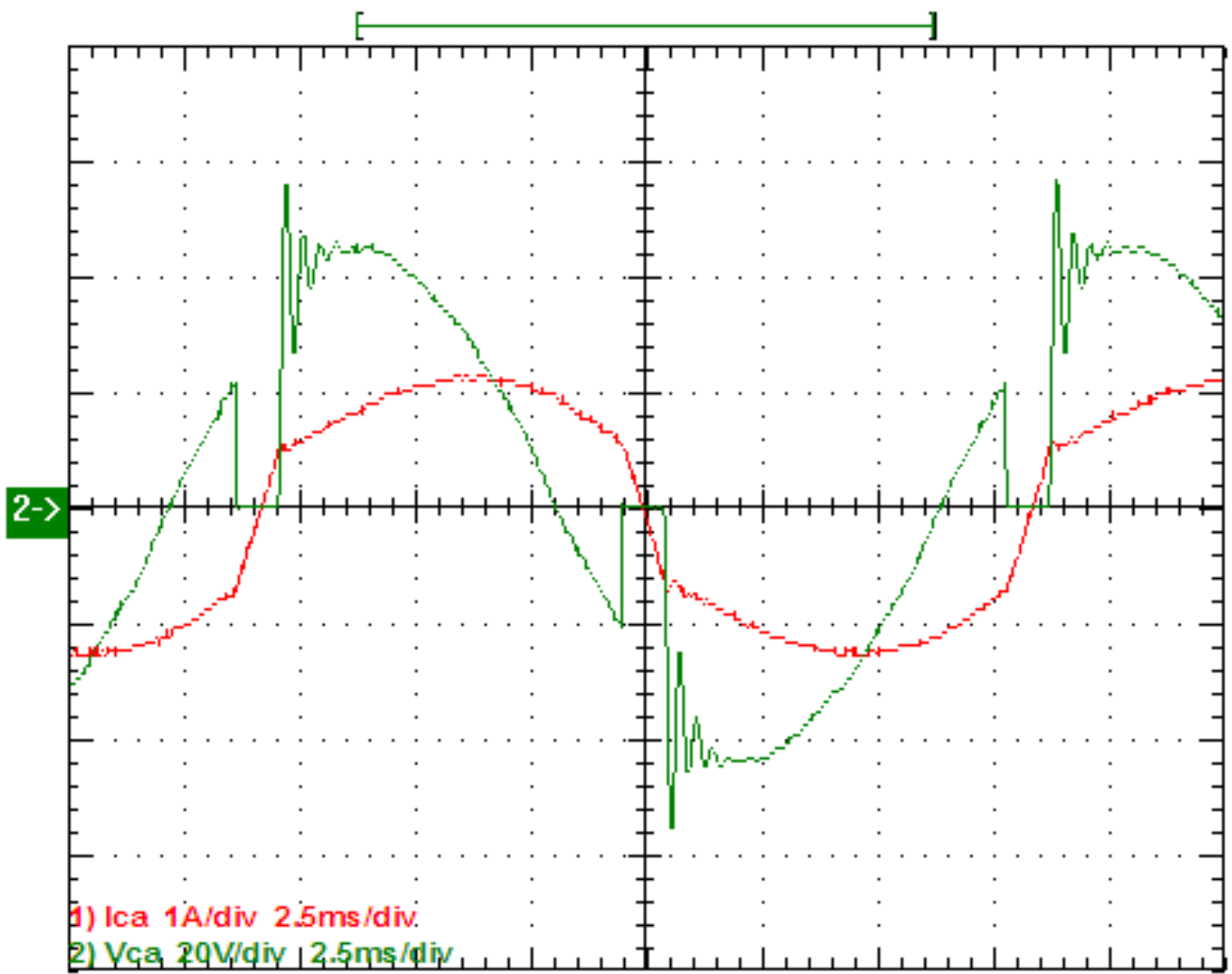


Fig. A2.4 –Tensão e corrente CA - carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

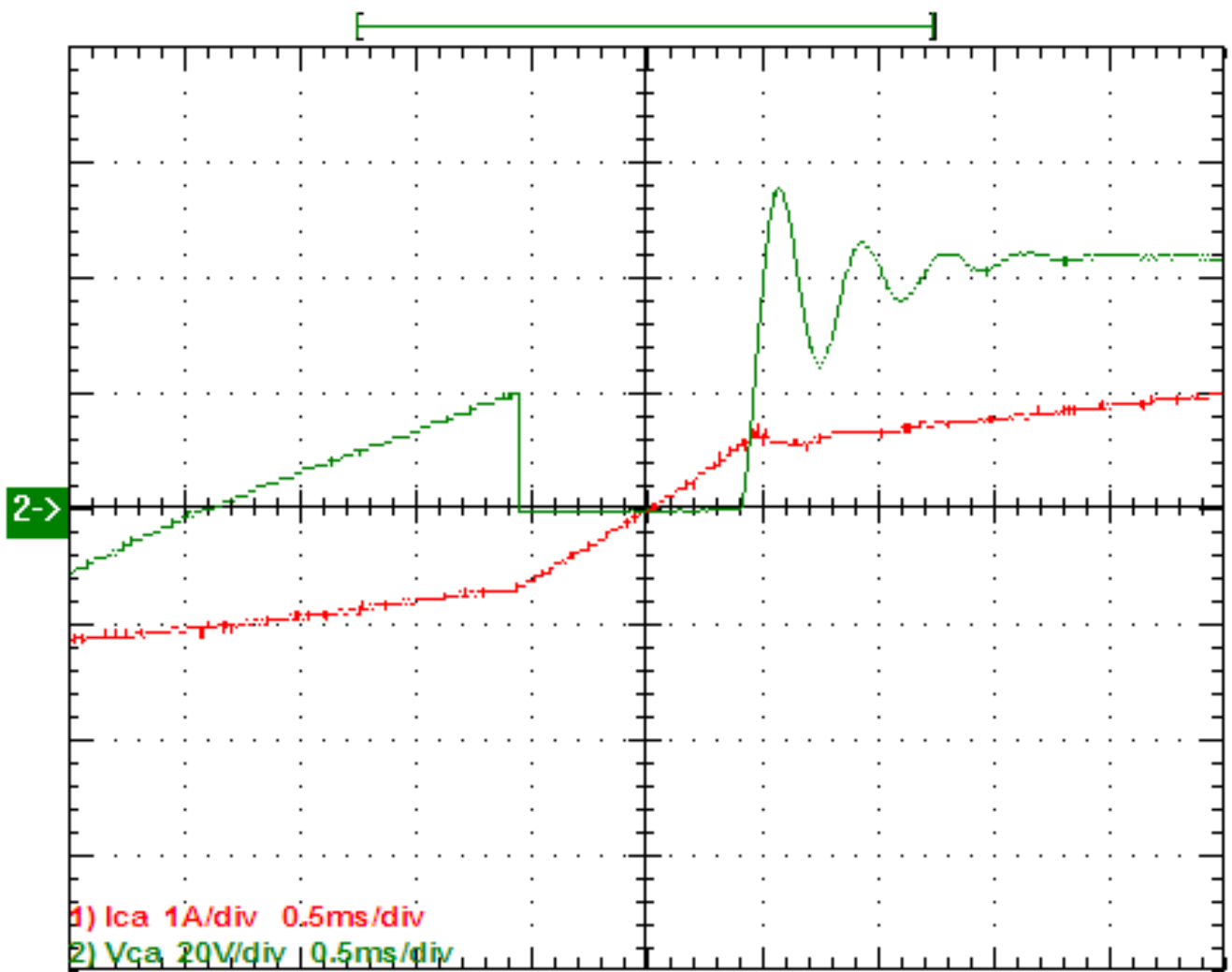


Fig. A2.5 –Tensão e corrente CA com escala de tempo expandida - carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

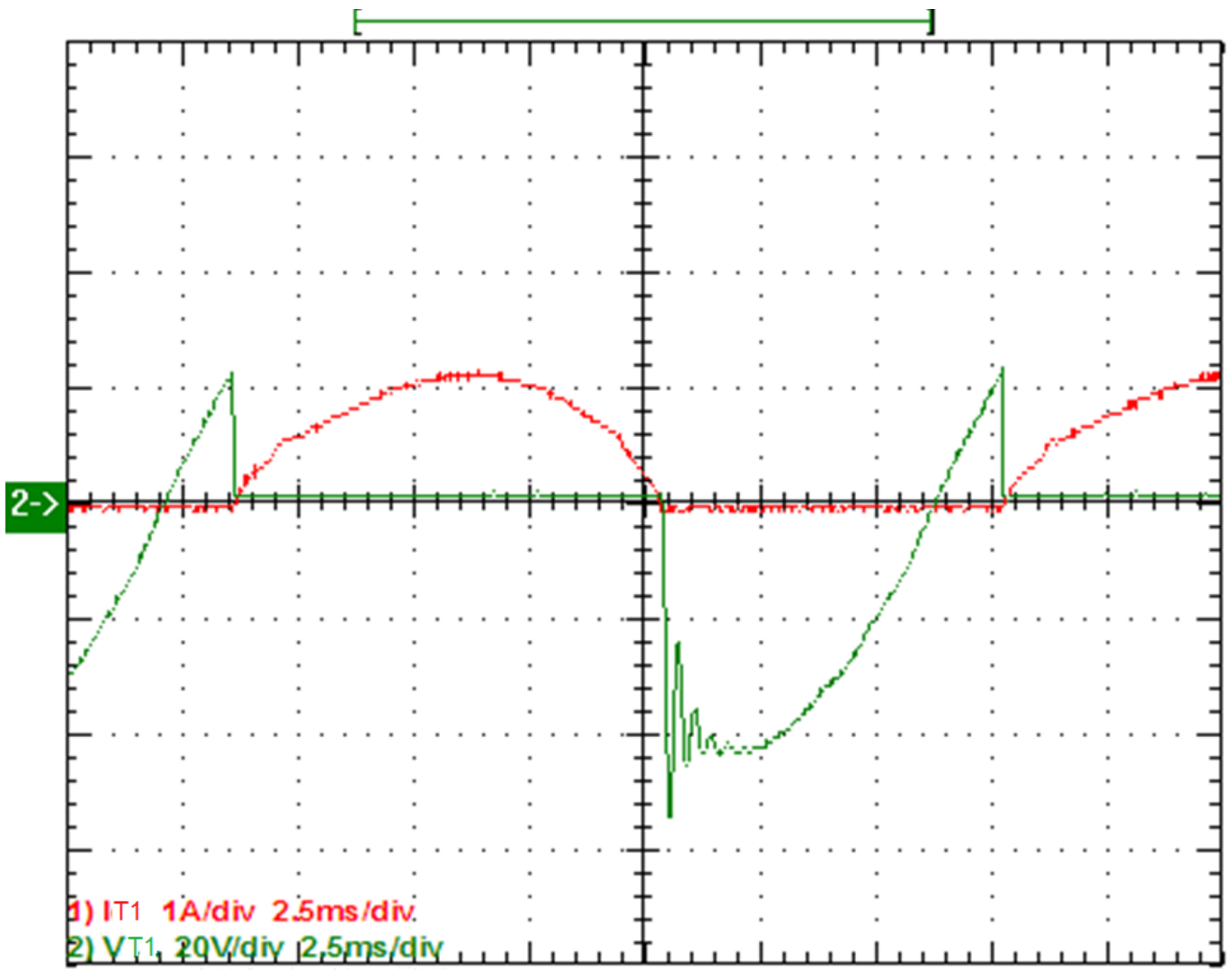


Fig. A2.6 –Tensão e corrente sobre o tiristor T1 - carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

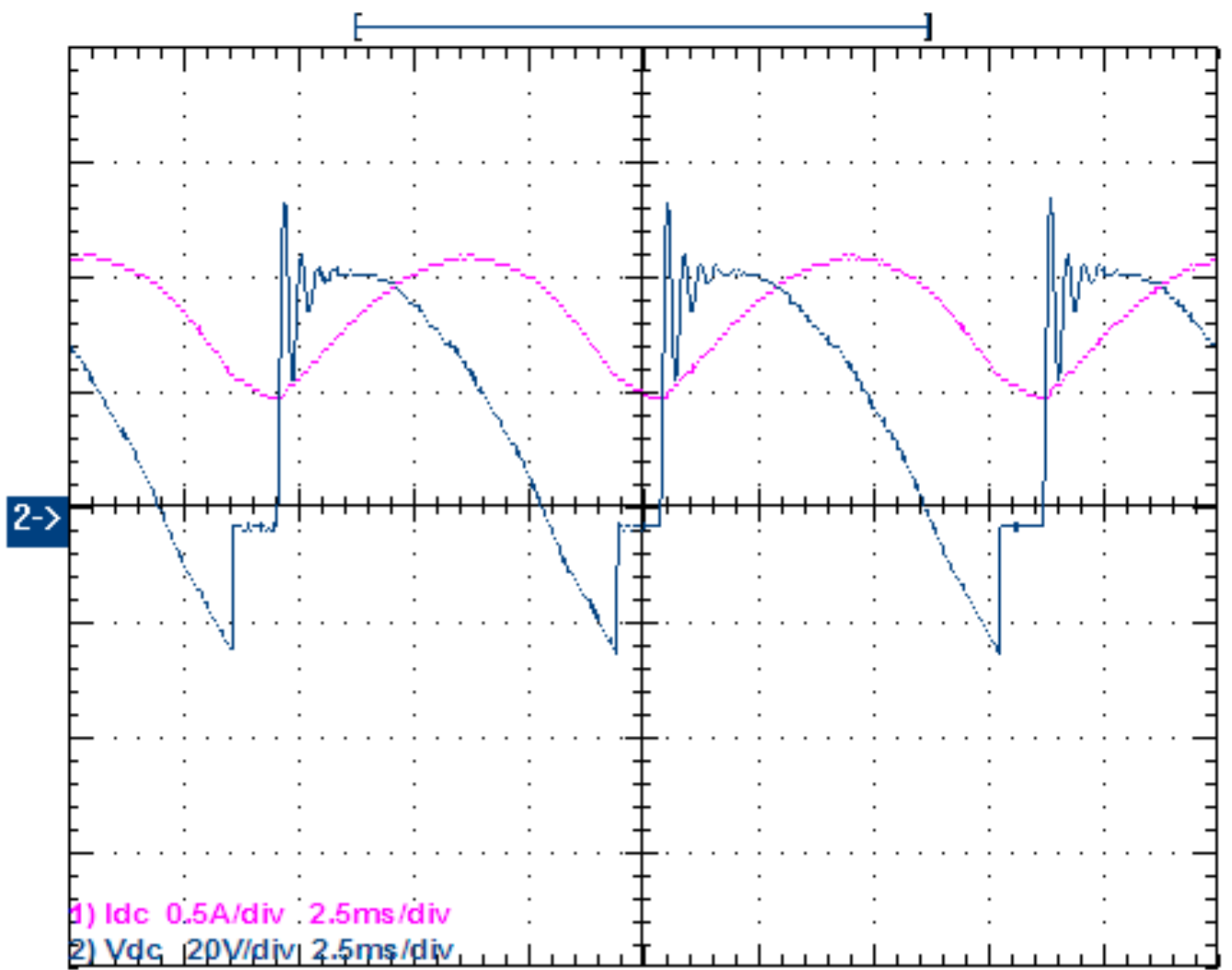


Fig. A2.7 –Tensão e corrente CC - carga RL, $R=30 \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

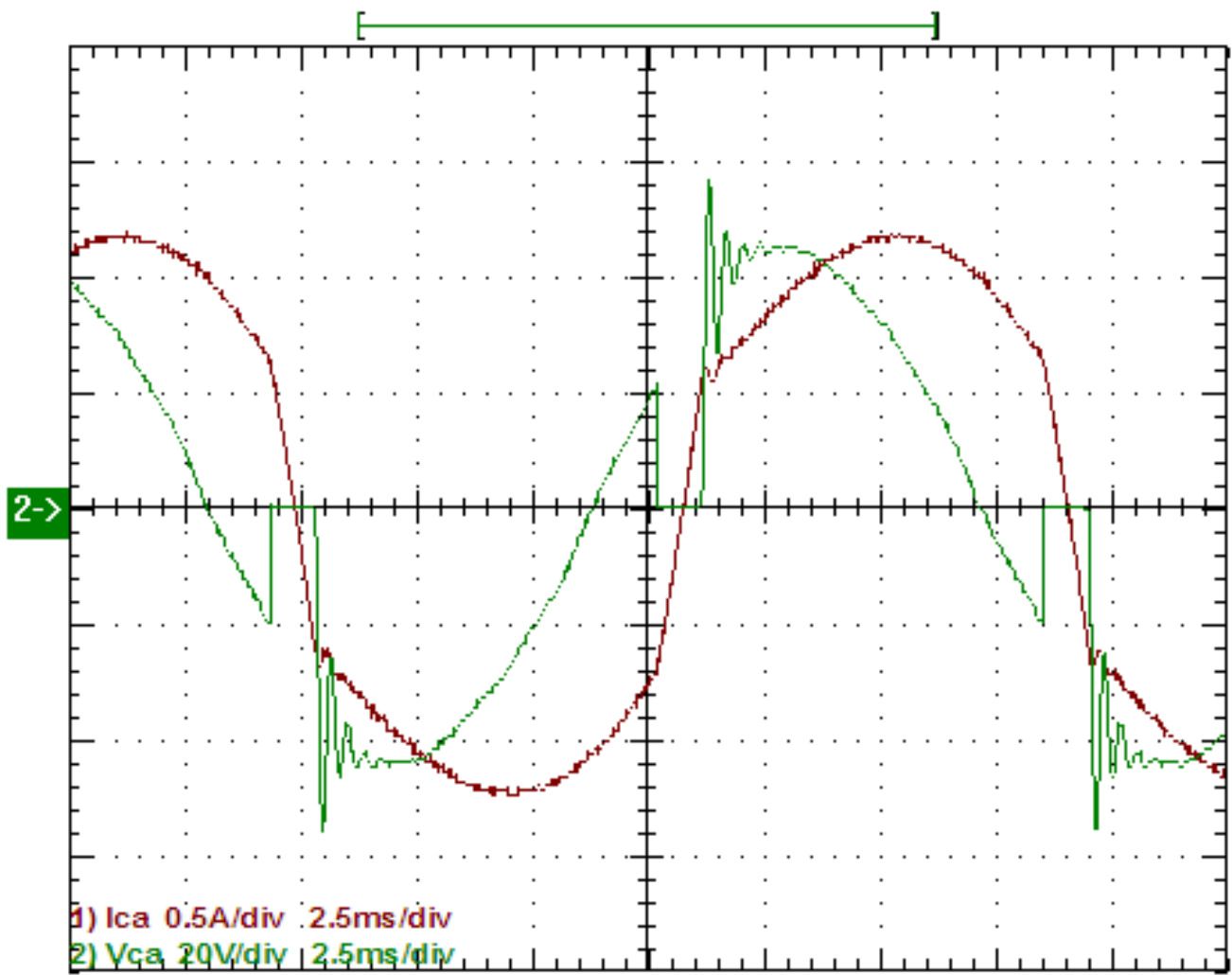


Fig. A2.8 –Tensão e corrente CA - carga RL, $R=20\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

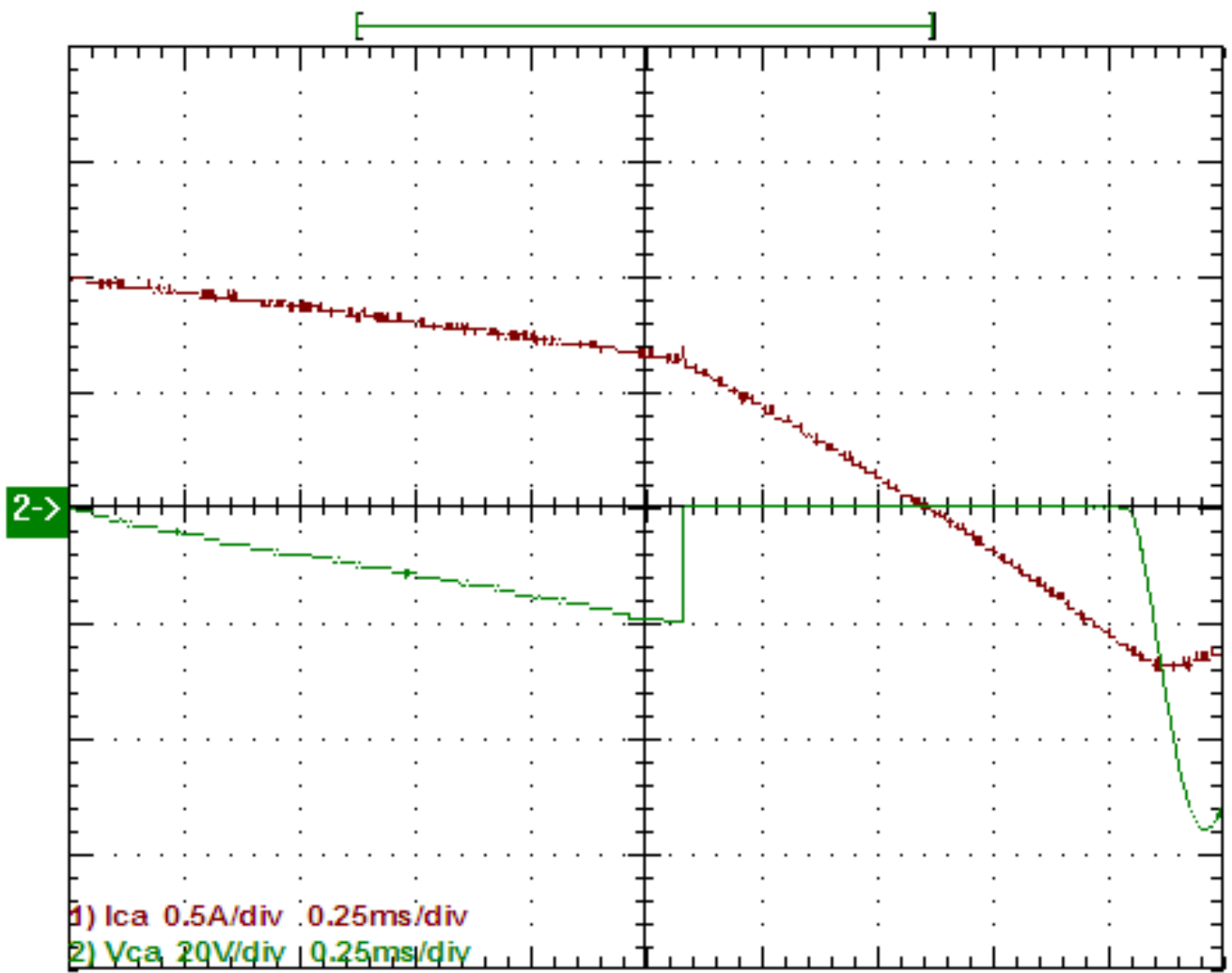


Fig. A2.9 –Tensão e corrente CA com escala de tempo expandida - carga RL, $R=20\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

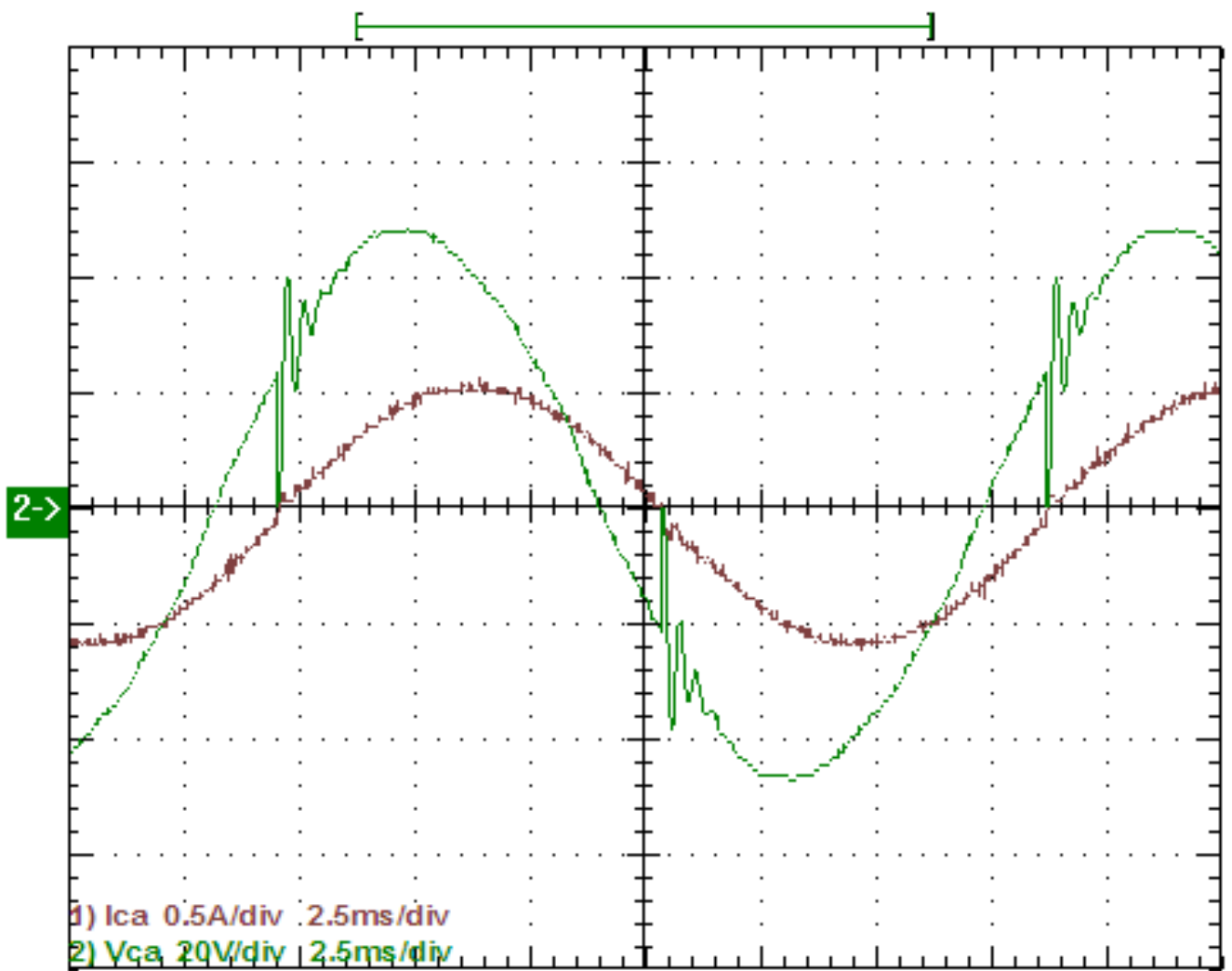


Fig. A2.10 –Tensão e corrente CA - carga RL, $R=70\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

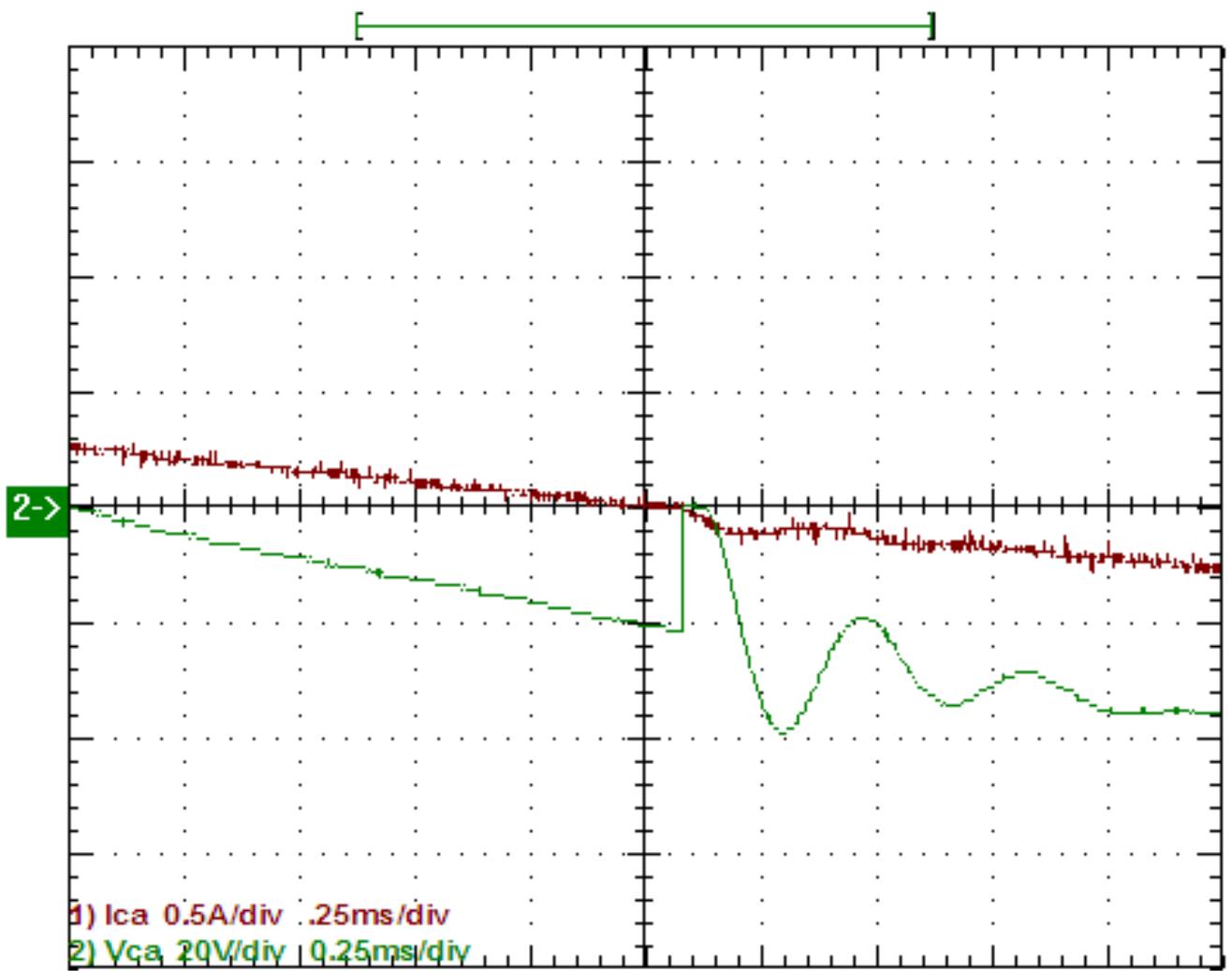


Fig. A2.11 –Tensão e corrente CA com escala de tempo expandida - carga RL, $R=70\ \Omega$ e $\alpha=30^\circ$

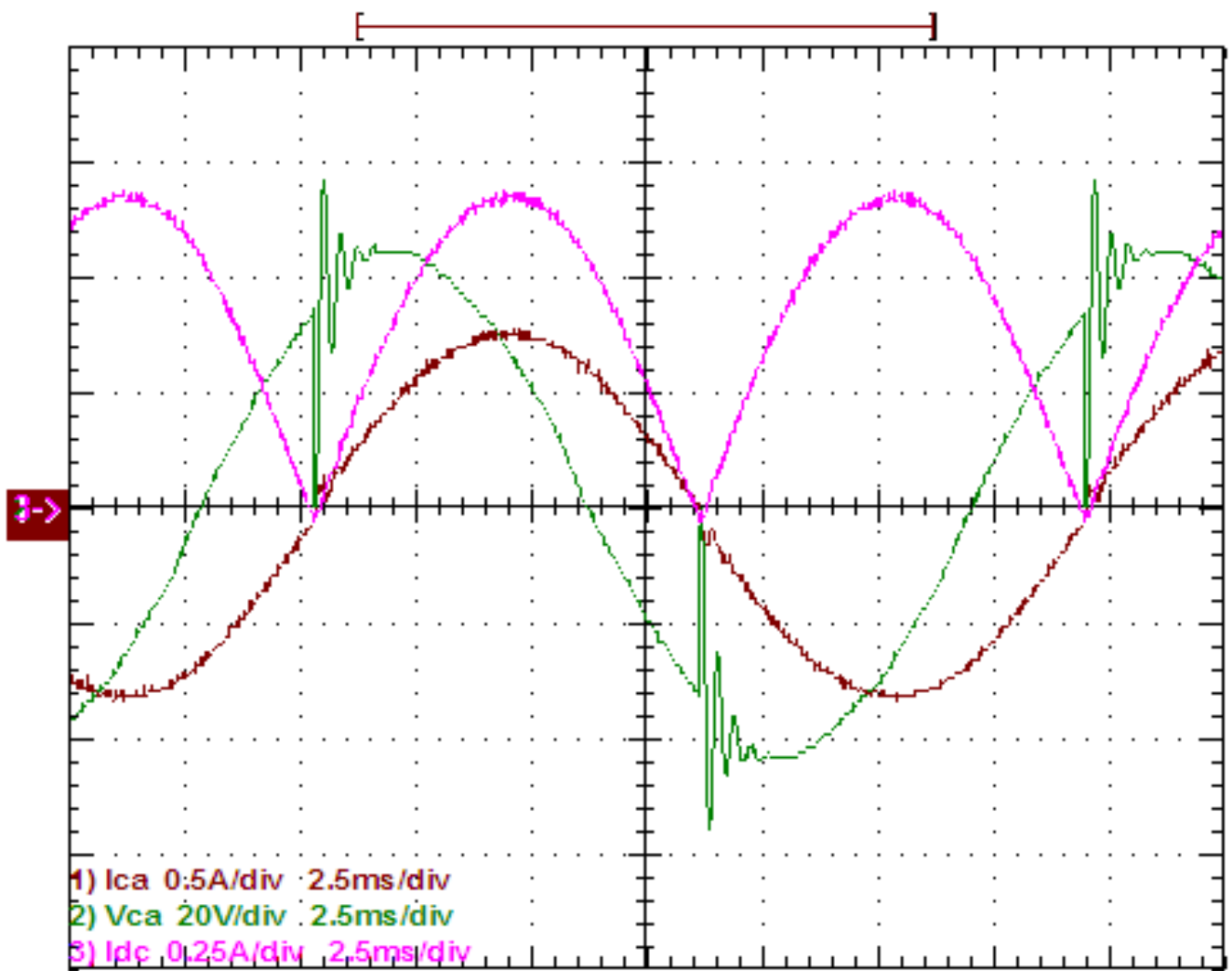


Fig. A2.12 –Tensão e corrente CA e corrente CC - carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha_{critico}$

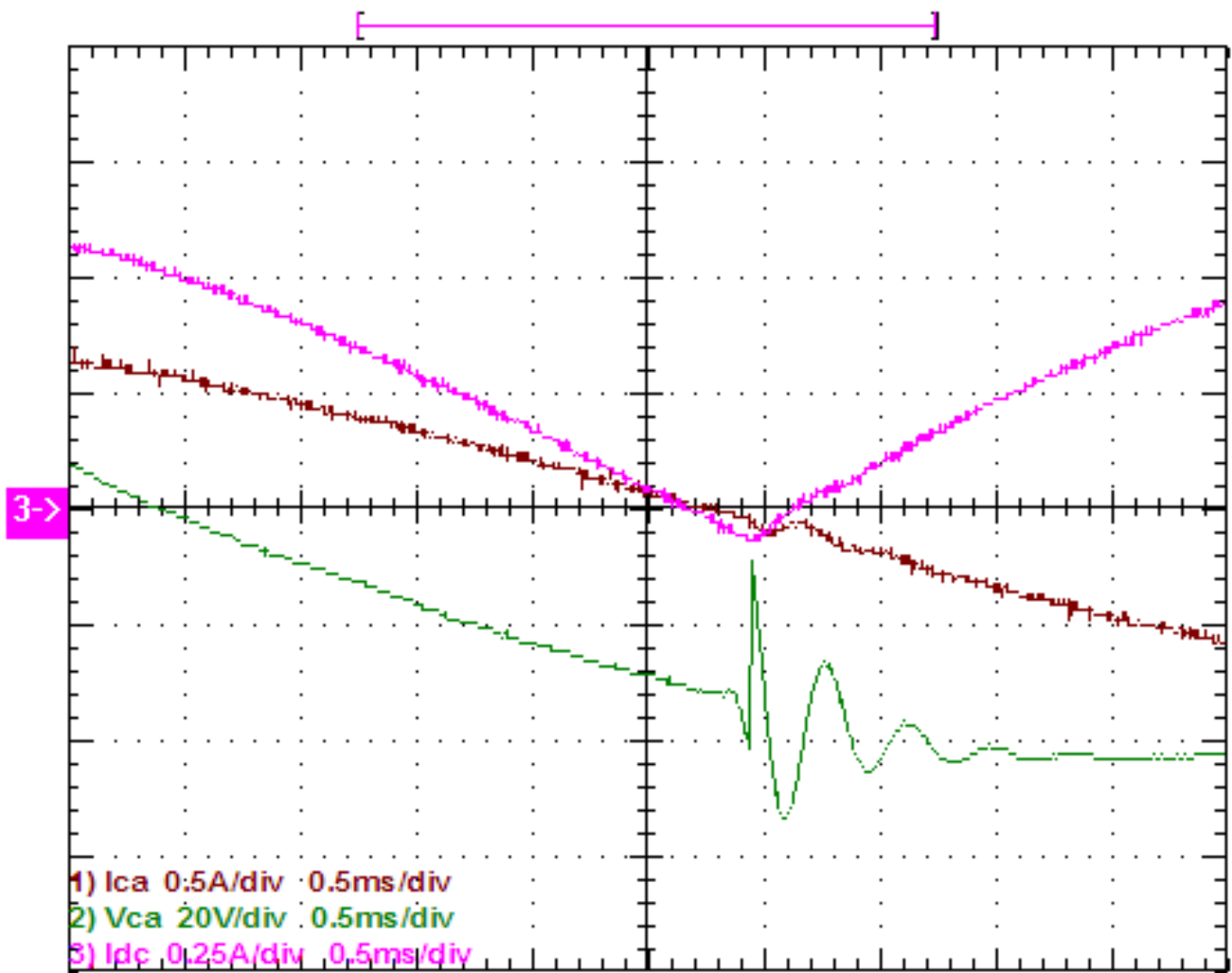


Fig. A2.13 –Tensão e corrente CA e corrente CC com escala de tempo expandida
 carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha_{critico}$

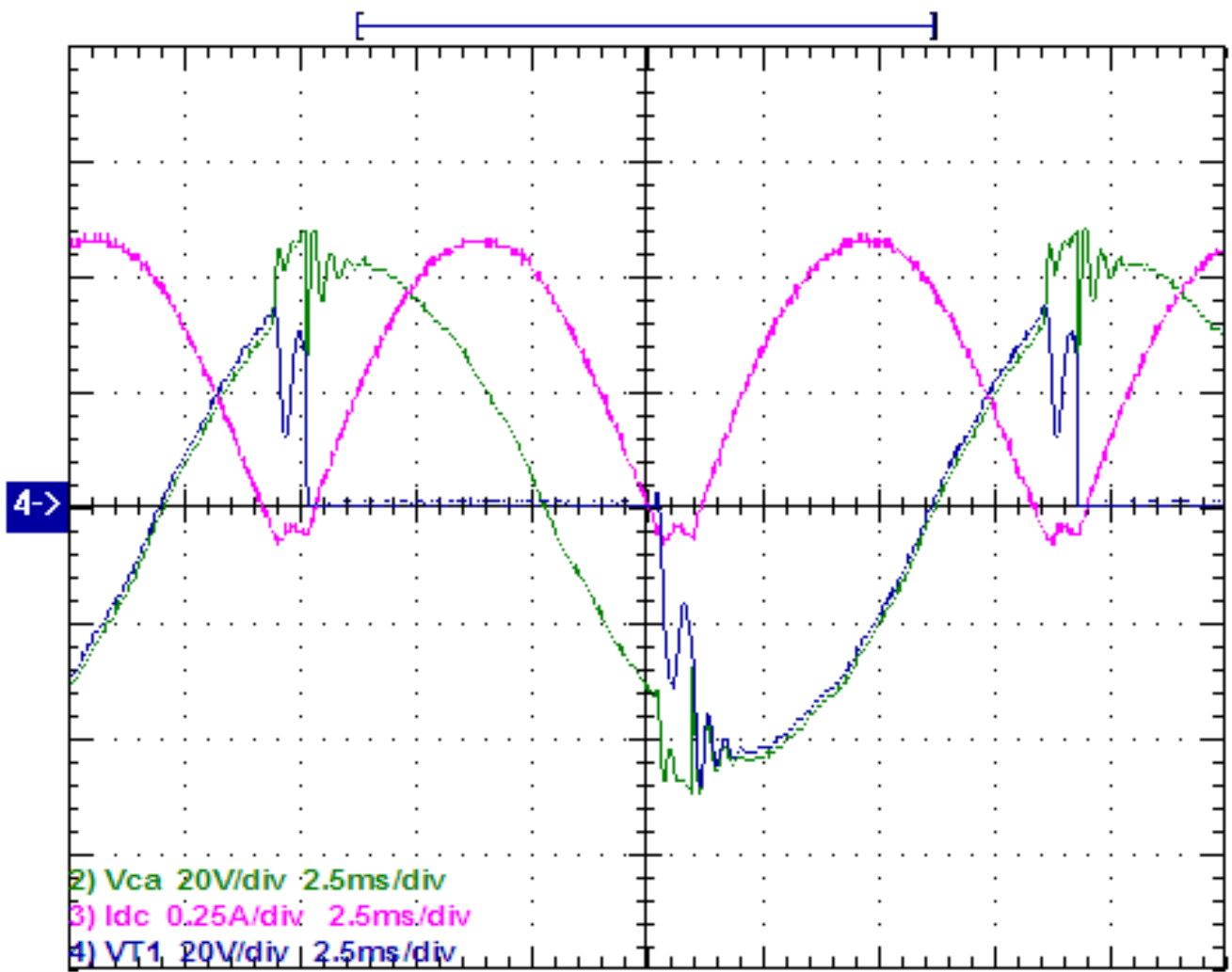


Fig. A2.14 –Tensão CA, corrente CC e tensão sobre tiristor T1
 carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha > \alpha_{\text{critico}}$

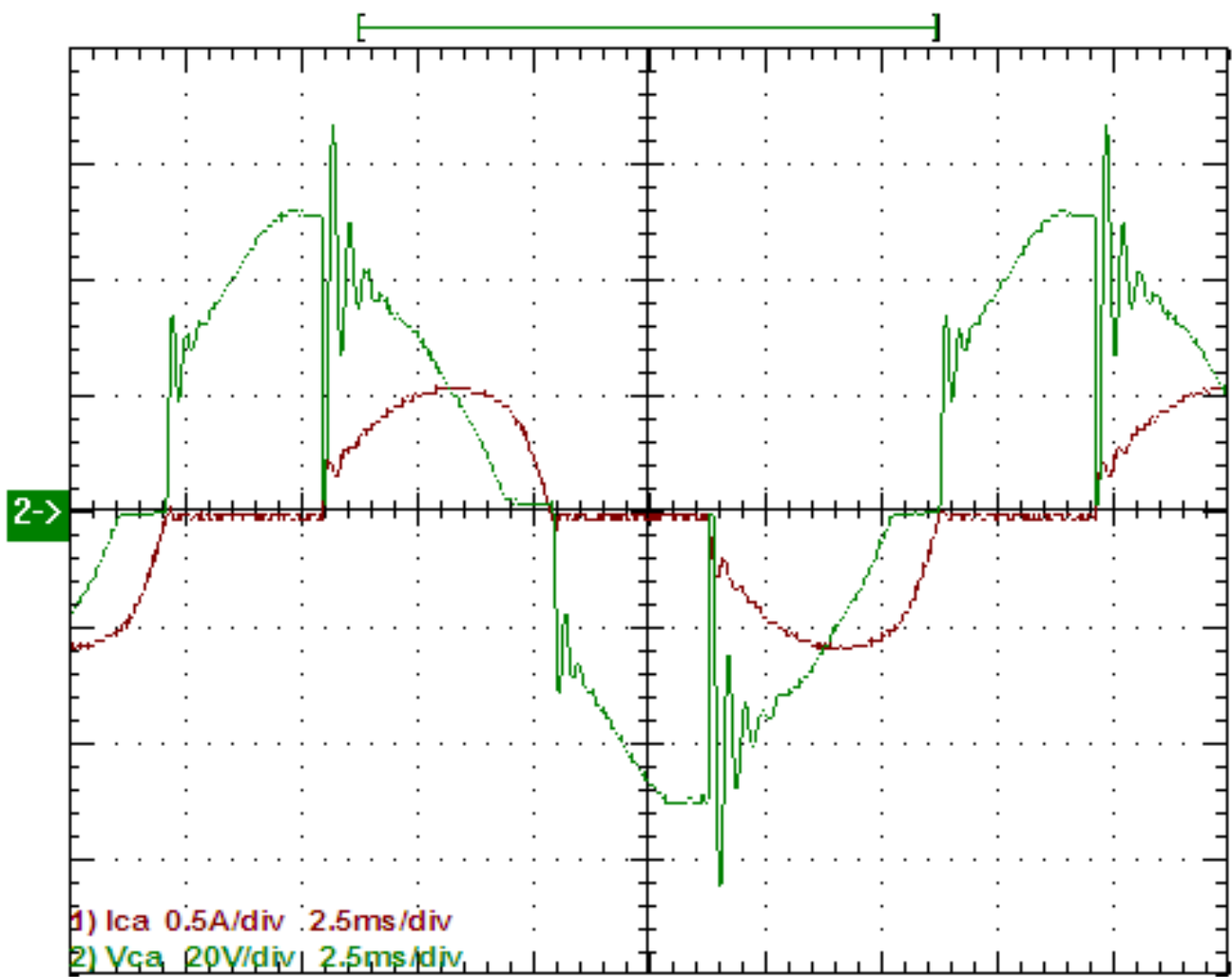


Fig. A2.15 –Tensão e corrente CA com diodo de retorno - carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=70^\circ$

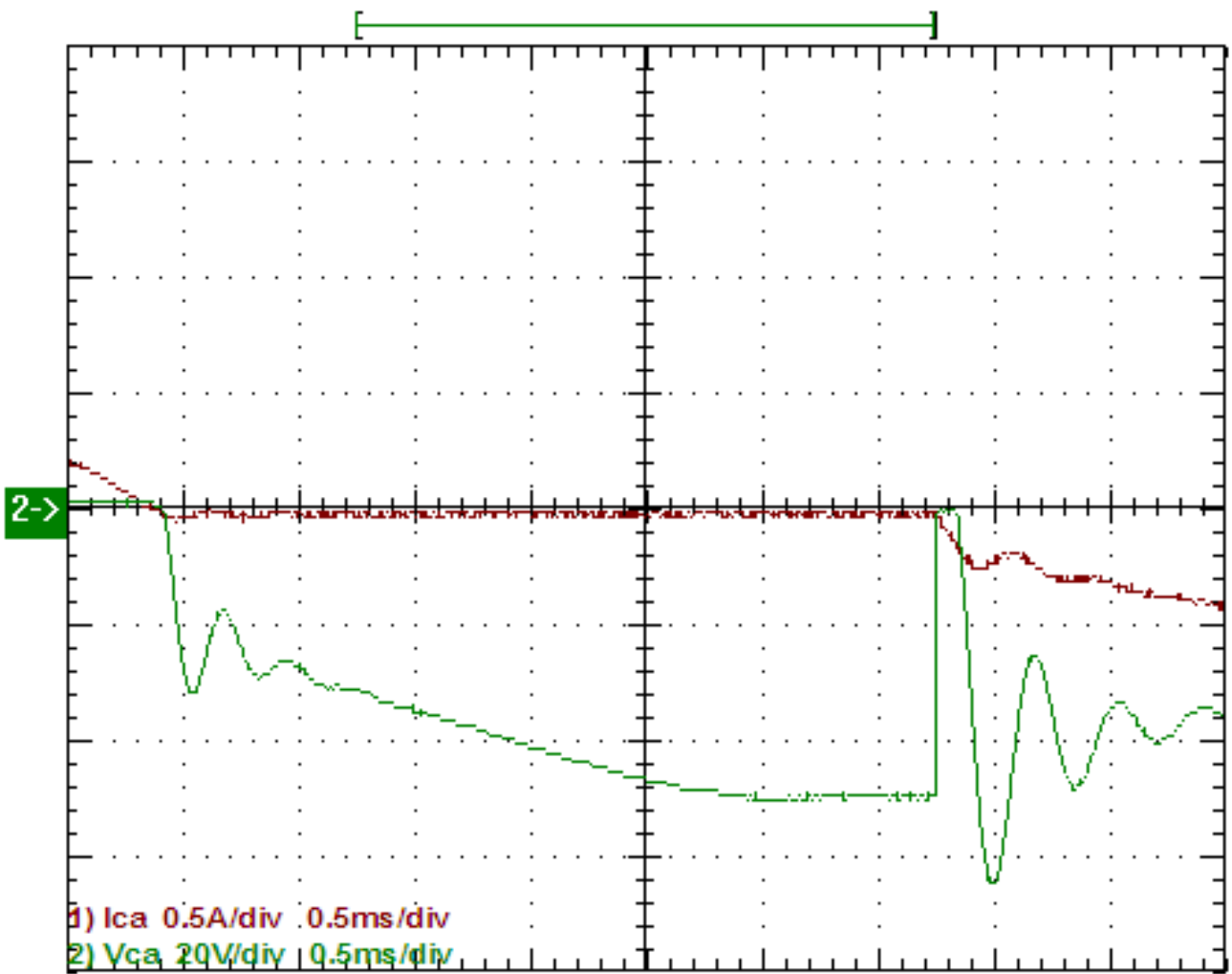


Fig. A2.16 – Tensão e corrente CA com diodo de retorno e escala de tempo expandida carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=70^\circ$

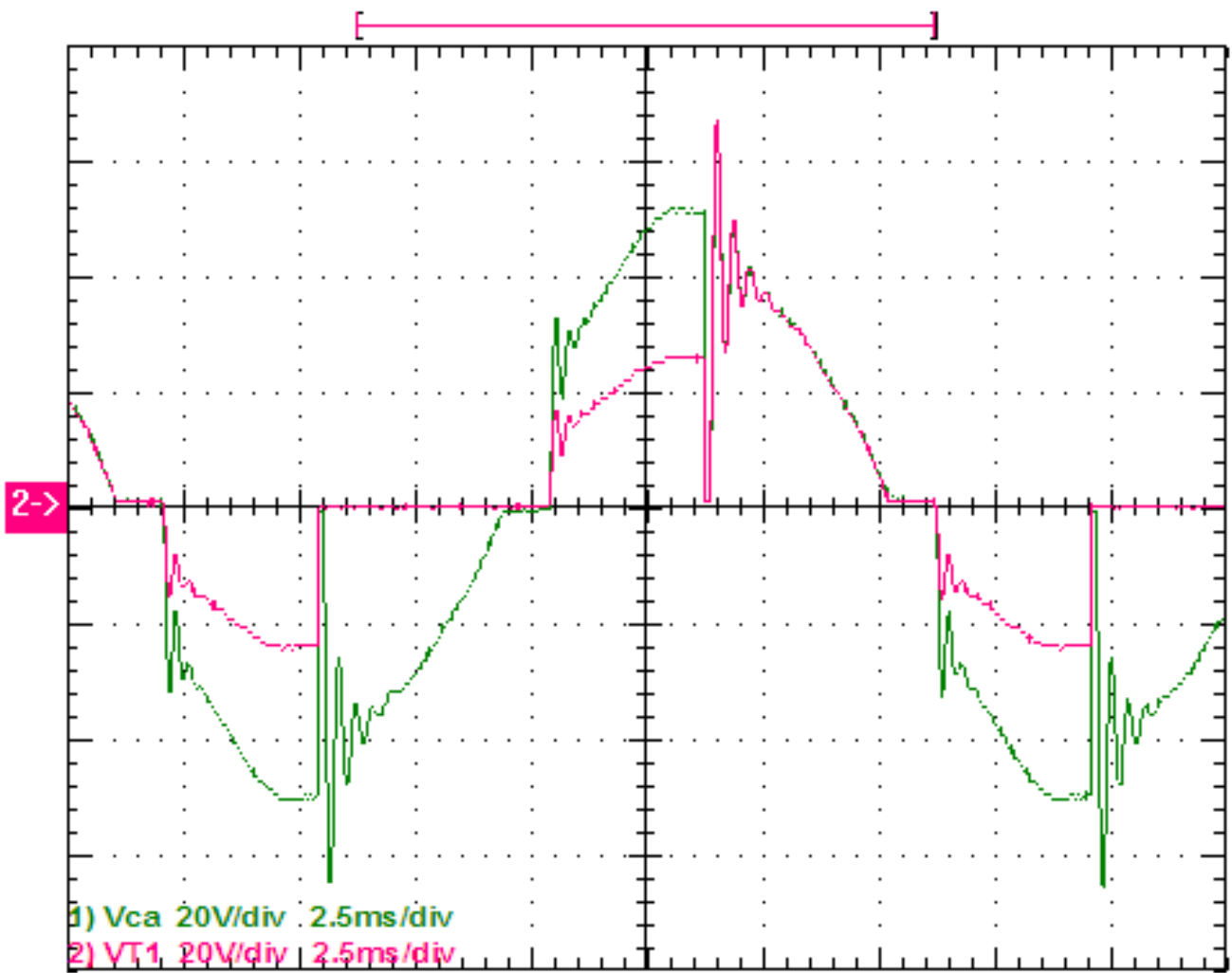


Fig. A2.17 –Tensões CA e sobre o tiristor T1 com diodo de retorno - carga RL, R=30 Ω e $\alpha=70^\circ$

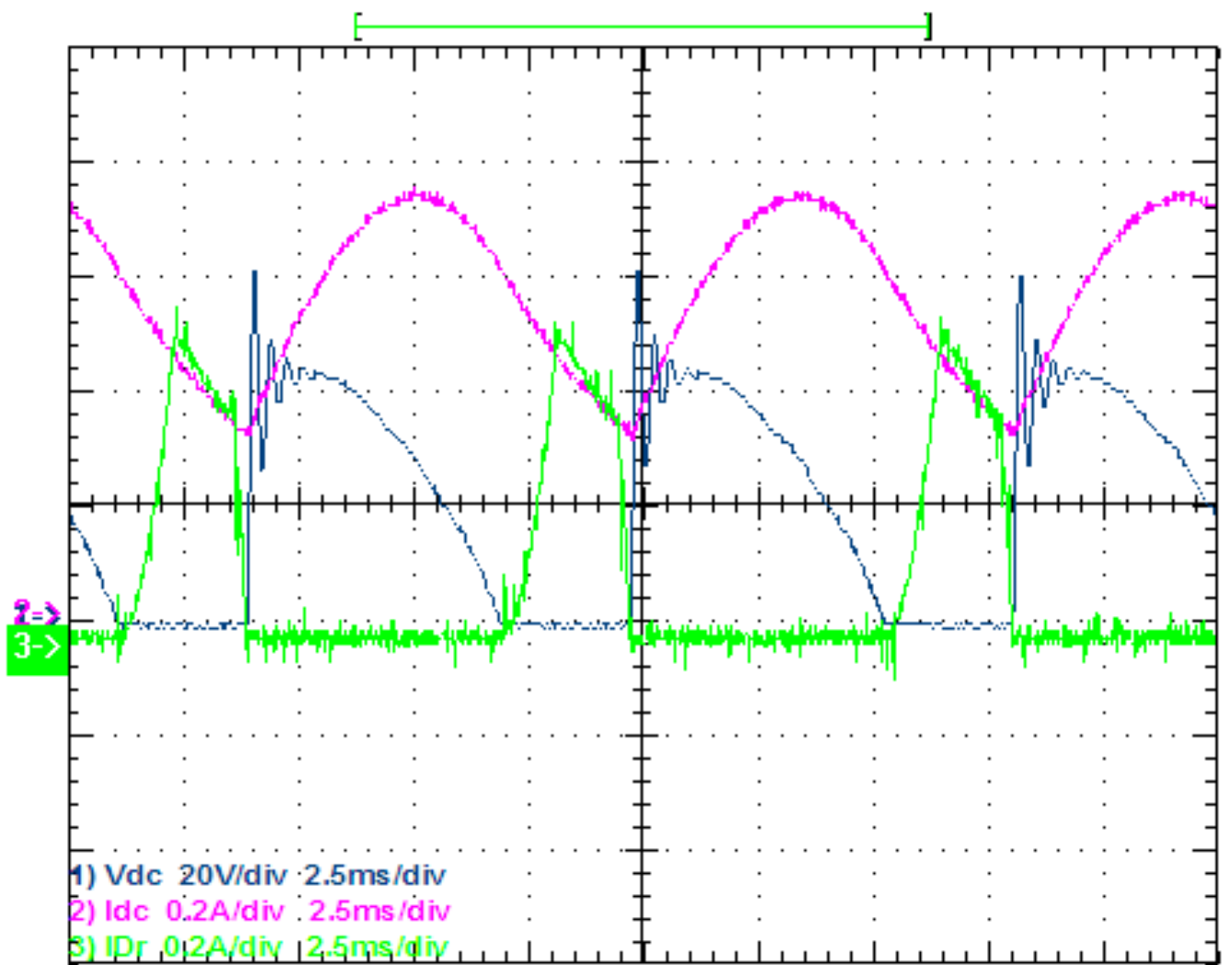


Fig. A2.18 – Tensão e corrente na carga e corrente no diodo de retorno Dr
 carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=70^\circ$

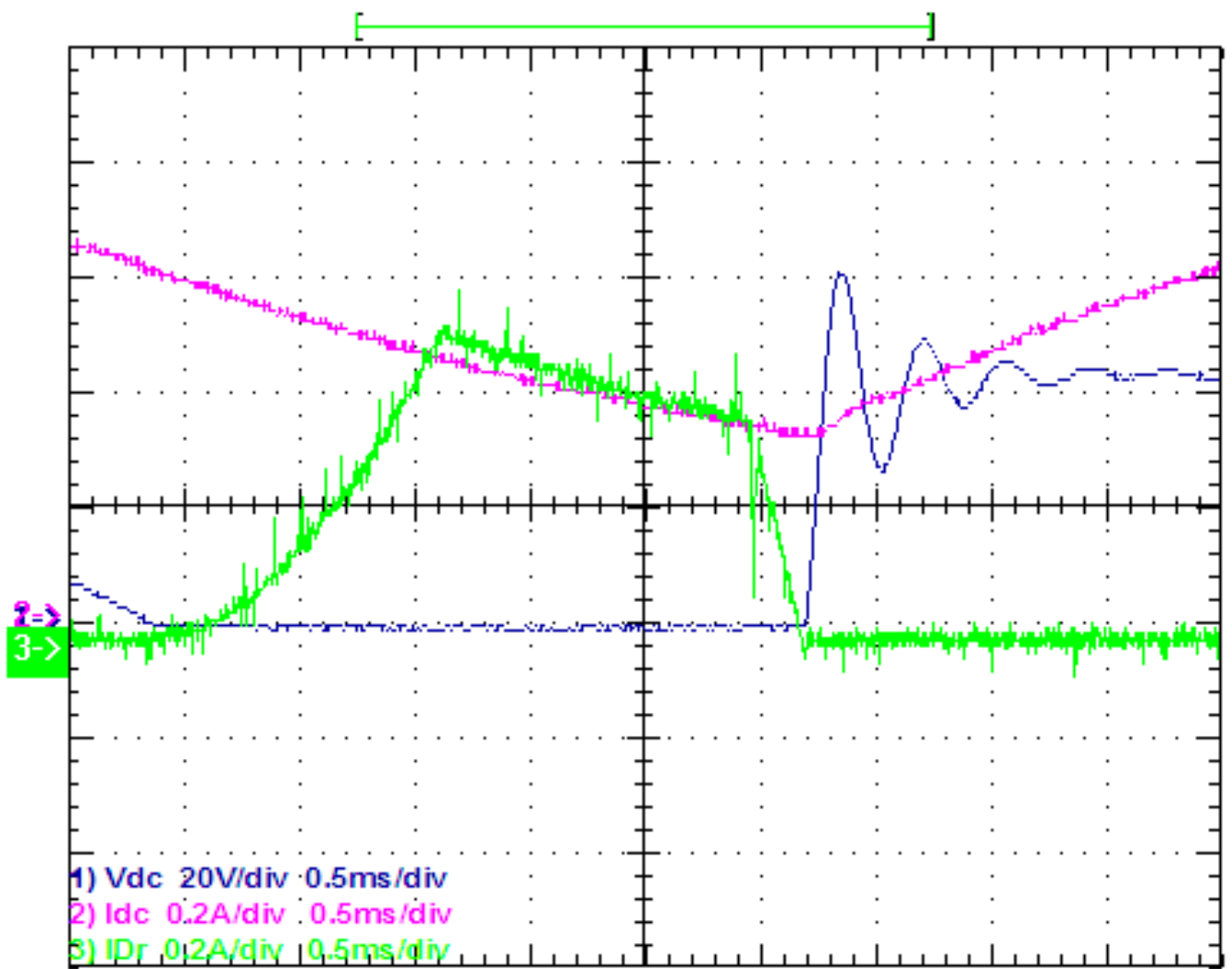


Fig. A2.19 –Tensão e corrente na carga e corrente no diodo de retorno Dr com escala de tempo expandida carga RL, $R=30\ \Omega$ e $\alpha=70^\circ$