RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **228159**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **402412**

(51) Int.Cl.
H02P 25/08 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **10.01.2013**

(54) **Układ do redukcji zakłóceń występujących w sygnale pochodnej prądu roboczego silnika reluktancyjnego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
21.07.2014 BUP 15/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.02.2018 WUP 02/18

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
ALEKSANDER DZIADECKI, Kraków, PL
JANUSZ GRZEGORSKI, Kraków, PL
JÓZEF SKOTNICZNY, Kraków, PL

PL 228159 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do redukcji zakłóceń występujących w sygnale pochodnej prądu roboczego silnika reluktancyjnego.

Silniki reluktancyjne umożliwiają wykorzystanie roboczych uzwojeń dla określenia położenia kątowego wirnika względem stojana. Dzięki temu możliwa jest znaczna poprawa niezawodności, ponieważ eliminuje się konieczność stosowania elektronicznych elementów umiejscowionych w bezpośrednim otoczeniu wirnika.

W typowym silniku reluktancyjnym poszczególne uzwojenia robocze załącza się sekwencyjnie do źródła napięcia stałego, przy czym wartość prądu roboczego płynącego przez uzwojenia korzystnie kontroluje się metodą impulsową, co zapewnia wysoką sprawność energetyczną. Jednocześnie symultanicznie z procesem kontroli wartości prądu śledzi się szybkości narastania prądu oraz szybkości opadania prądu i na tej podstawie ustala się położenie wirnika względem stojana, a następnie wyznacza się optymalne momenty dla przełączenia uzwojeń roboczych silnika reluktancynego. Złożony proces komutacji, który oprócz selekcji uzwojeń obejmuje również impulsową kontrolę średniej wartości prądu w wybranym uzwojeniu sprawia, że powstające w podczas procesu komutacji stany nieustalone utrudniają przeprowadzenie precyzyjnych pomiarów indukcyjności uzwojenia, niezbędnych dla wyznaczenia aktualnego położenia wirnika i tym samym ustalenie optymalnych momentów dla przełączeń uzwojeń silnika reluktancyjnego. Sposób według wynalazku umożliwia redukcję sygnałów zakłócających i tym samym zapewnia poprawę procesu sterowania.

Istota układu do redukcji zakłóceń występujących w sygnale pochodnej prądu roboczego silnika reluktancyjnego polega na tym, że, do każdej z diod, których katody są połączone bezpośrednio do dodatniego bieguna napięcia zasilającego są dołączone równolegle odpowiednie dwójniki RC będące szeregowym połączeniem rezystora i kondensatora.

Wartości pojemności kondensatora w dwójnikach RC dobiera się tak, aby były, co najmniej dziesięciokrotnie większe od wartości pojemności dren-źródło rozwartego łącznika, który bezpośrednio łączy się z jednej strony z rezystorem pomiarowym, a z drugiej strony z uzwojeniem roboczym, dwójnikiem RC oraz diodą odprowadzającą prąd samoindukcji uzwojenia roboczego.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidoczniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia podstawowy układ komutacji prądowej dla trójfazowego silnika reluktancyjnego, gdzie nakreślono kierunki przepływu prądu mierzonego i_2 i prądu zakłócającego i_1, Fig. 2 przedstawia układ komutacji prądowej dla trójfazowego silnika reluktancyjnego według wynalazku, Fig. 3 przedstawia przebieg zmian prądu zasilania uzwojenia roboczego oraz, poniżej, przebiegi zmian pochodnych dla sygnału prądu, odpowiednio pochodnej dodatniej dla narastania prądu i pochodnej ujemnej dla opadania prądu, Fig. 4 przedstawia przykład procesu śledzenia zmian w szybkości narastania prądu dla ustalenia momentu przełączeń uzwojeń silnika, natomiast Fig. 5 przedstawia przykład procesu jednoczesnego śledzenia zmian w szybkości narastania i opadania prądu dla ustalenia momentów przełączeń uzwojeń silnika, Fig. 6 przedstawia zakłócony przebieg pochodnej ujemnej P_u, gdzie literą „Z" oznaczono zakłócenie. Fig. 7 przedstawia przebieg pochodnej prądu opadania, w której zminimalizowano wpływ zakłóceń dzięki zastosowaniu dwójników według wynalazku.

Po załączeniu wybranego uzwojenia do źródła napięcia stałego, wartość prądu roboczego płynącego przez uzwojenia kontroluje się metodą impulsową za pośrednictwem łączników WP_1, WP_2, WP_3, czyli utrzymuje wybrany łącznik w stanie załączonym do momentu, w którym chwilowa wartość prądu zbliży się do ustalonej górnej wartości granicznej, po czym uzwojenie odłącza się od źródła napięcia stałego przez wyłączenie odpowiedniego łącznika WP_1, WP_2 lub WP_3. Po rozłączeniu odpowiedniego łącznika WP_1, WP_2 lub WP_3 przez uzwojenie oraz odpowiednią diodę DM_1, DM_2 lub DM_3, płynie prąd samoindukcji, którego wartość stopniowo maleje. Po osiągnięciu ustalonej dolnej wartości granicznej następuje ponowne załączenie wybranego uzwojenia roboczego do źródła napięcia zasilania. Chwilowe zmiany prądu płynącego przez uzwojenie na Fig. 3 uwidacznia górny przebieg – oznaczenie I_f. Przebieg dolny uwidacznia chwilowe zmiany modułu wartości pochodnej prądu dla procesu narastania prądu P_d i procesu opadania prądu P_u.

W procesie sterowania według wynalazku zastosowano rozdzielenie sygnału dla pochodnej dodatniej od sygnału dla pochodnej ujemnej. Przykład wydzielonego sygnału obrazującego przebieg zmian chwilowej wartości dla pochodnej dodatniej uwidoczniono na Fig. 4 – oznaczenie P_d. Tuż po pierwszym załączeniu wybranego uzwojenia do źródła napięcia stałego wartość pochodnej narastania prądu przyjmuje największą wartość. W miarę zbliżania się nabiegunników wirnika do nabiegunników

stojana następuje zmiana reluktancji obwodu magnetycznego, co skutkuje wzrostem indukcyjności i tym samym stopniowym zmniejszaniem szybkości narastania prądu. Po przekroczeniu ustalonej wartości granicznej P_d następuje przełączenie prądu zasilania na kolejne uzwojenie. Jak pokazano na Fig. 4, aktualizacja wartości pochodnej narastania prądu następuje po każdym skończonym cyklu narastania, natomiast w czasie cyklu opadania prądu utrzymywana jest wartość ostatniego zarejestrowanego pomiaru czasu narastania prądu. Zatem, w przedziale czasowym, w którym następuje opadanie prądu niemożliwe jest ustalenie położenia wirnika w oparciu o pomiar czasu narastania prądu. Ponadto, w miarę wydłużania się czasu narastania prądu następuje również wydłużenie czasu opadania prądu. W celu wyeliminowania okresów „martwych", w których niemożliwe jest ustalenie położenia wirnika śledzi się również zmiany pochodnej opadania prądu. Fig. 5 przedstawia wydzielone odrębne sygnały dla pochodnej narastania prądu P_d i pochodnej opadania prądu P_u. Jak pokazano na Fig. 5 pierwsze przełączenie uzwojeń roboczych silnika nastąpiło, gdy przekroczona została graniczna wartość dla pochodnej dodatniej, punkt „A", natomiast kolejne przełączenie uzwojeń silnika nastąpiło, gdy przekroczona została graniczna wartość dla pochodnej ujemnej, punkt „B". Przełączenie uzwojeń roboczych silnika skutkuje obecnością stanów nieustalonych utrudniających dokładne wyznaczenie wartości pochodnych.

Chociaż energia zgromadzona w uzwojeniach silnika L_1, L_2 lub L_3 po rozłączeniu któregokolwiek z nich jest odprowadzana do źródła napięcia zasilającego odpowiednio przez diody DP_1, DM_1 lub DP_2, DM_2 lub DP_3, DM_3, to nieuchronna jest obecność stanów przejściowych występujących podczas procesu rozłączania tych diod. Wartości prądów płynących przez wymienne diody tuż przed momentem rozłączenia są bliskie zero, jednakże diody odpowiedniej pary DP_1, DM_1 lub DP_2, DM_2 lub DP_3, DM_3 są nadal spolaryzowane w kierunku przewodzenia i tym samym wartość napięcia na odpowiednim uzwojeniu, tuż przed wyłączeniem diod, jest nawet nieznacznie większa od wartości napięcia zasilania, a przez uzwojenie zaczyna płynąć prąd, który odprowadza ładunki mniejszościowe ze złącz P–N, powodując rozłączenie diod i ostatecznie zanik napięcia na uzwojeniu, który następnie może przechodzić w zanikające oscylacje.

Powstające, w końcowej fazie rozłączania diod, stany przejściowe powodują znaczne i szybkie zmiany potencjałów na końcach już odłączonych od źródła napięcia uzwojeń i są przenoszone, poprzez pojemności własne otwartych łączników WM_1, WM_2, WM_3, do wspólnego węzła dla pomiaru chwilowej wartości prądu ustanowionego na rezystorze R_p. Te zakłócenia, będące skutkiem gwałtownego obniżania się, względem masy układu, napięcia na anodach diod DP_1, DP_2, DP_3 w procesie ich rozłączania, pokazane na Fig. 6, jako przebieg czasowy oznaczony symbolem Ud, nakładają się na przebieg pomiaru prądu w kolejnym uzwojeniu silnika reluktancyjnego. Skutkiem tego, jak pokazano na Fig. 1, zmierzona na rezystorze R_p wartość sygnału jest wynikiem interferencji aktualnie mierzonego właściwego sygnału I_2, przejściowego prądu zakłócającego I_1 oraz prądu wyłączania diody I_{DP1}. Fig. 6 przedstawia zakłócony sygnał pochodnej ujemnej prądu zasilania P_u, zarejestrowany w układzie sterowania, którego nie wyposażono w dwójniki R_1C_1, R_2C_2, R_3C_3. Na Fig. 6 literą „Z" oznaczono zakłócenie sygnału P_u pochodnej prądu i_2 mierzonego w drugim uzwojeniu L_2 silnika wywołane gwałtownym obniżeniem się napięcia na anodzie diody DP_1, na skutek odzyskiwania przez nią zdolności zaporowych kończące proces wyłączania prądu z uzwojenia L_1 silnika. Jak można zauważyć, poziom zakłóconego sygnału zmienia się na tyle dużo, że osiąga on próg komparacji, co zostaje przez układ regulacji błędnie zinterpretowane, jako osiągnięcie przez wirnik silnika kolejnego położenia, w którym należy dokonać komutacji prądu między jego fazami. Po wyposażeniu tego samego obwodu sterującego w dwójniki R_1C_1, R_2C_2, R_3C_3, uzyskano znaczną redukcję zakłóceń, Fig. 7.

Dwójniki R_1C_1, R_2C_2, R_3C_3 nie tylko ograniczają szybkości zmian napięcia w procesie wyłączania diod DP_1, DP_2 i DP_3, ale również wymuszają przeniesienie energii zakłóceń na pojemności złączowe odpowiednich diod DM_1, DM_2, DM_3. Ponieważ każda z diod DP_1, DP_2 lub DP_3, podczas procesu rozłączenia, jest połączona równolegle z dwójnikiem RC oraz szeregowo z odpowiednim uzwojeniem L_1, L_2 lub L_3, a także jest połączona odpowiednią diodą DM_1 lub DM_2 lub DM_3, występujące w procesie rozłączenia zakłócenia zostaną przeniesione na ten element pojemnościowy, który wykazuje mniejszą wartość pojemności, czyli jedną z diod DM_1 lub DM_2 lub DM_3. Wynika to z faktu, że przy szeregowym połączeniu elementów pojemnościowych wartości napięć na tych elementach są odwrotnie proporcjonalne do ich pojemności, podczas gdy wartość zgromadzonej energii jest proporcjonalna do drugiej potęgi wartości napięcia.

Zatem, zastosowanie dwójników R_1C_1, R_2C_2, R_3C_3 nie tylko powoduje znaczne ograniczenie szybkości zmian napięcia w krytycznych fragmentach obwodu, ale również wymusza przeniesienie

energii zakłóceń w tę część obwodu elektrycznego, w której obecność zakłóceń w minimalnym stopniu wpływa na proces pomiaru pochodnych narastania i opadania prądu.

P r z y k ł a d w y k o n a n i a

Fig. 2 przedstawia układ komutacji prądowej dla trójfazowego silnika reluktancyjnego według wynalazku. Układ do redukcji zakłóceń występujących w sygnale pochodnej prądu roboczego silnika reluktancyjnego posiada trzy oddzielne uzwojenia robocze, L_1, L_2, L_3, w którym początek każdego z tych uzwojeń jest połączony poprzez odpowiednie łączniki WP_1, WP_2, WP_3, do dodatniego bieguna napięcia zasilającego U_z i poprzez diody DM_1, DM_2, DM_3 do ujemnego bieguna napięcia zasilającego U_z tak, że ujemny biegun napięcia zasilającego jest dołączony do anody każdej z tych diod. Koniec każdego z tych uzwojeń roboczych silnika reluktancyjnego L_1, L_2, L_3 jest połączony poprzez diody DP_1, DP_2, DP_3 do dodatniego bieguna napięcia zasilającego U_z tak, że dodatni biegun napięcia zasilającego jest dołączony do katody każdej z tych diod i poprzez łączniki WM_1, WM_2, WM_3, do jednego wyprowadzenia rezystora pomiarowego R_p, którego drugie wyprowadzenie jest dołączone do ujemnego bieguna napięcia zasilającego U_z. Do każdej z diod DP_1, DP_2, DP_3, których katody są połączone bezpośrednio do dodatniego bieguna napięcia zasilającego U_z są dołączone równolegle odpowiednie dwójniki R_1C_1, R_2C_2, R_3C_3.

Jako łączniki WP_1, WP_2, WP_3, WM_1, WM_2, WM_3, zastosowano tranzystory MOS typu PW60R045, których prąd nominalny wynosi 28 A, a wartość pojemności dren-źródło około 0,8nF. Układ zasilany jest ze źródła napięcia stałego o wartości 100V. Wartości pojemności i rezystancji dwójników RC wynoszą odpowiednio: 10 nF i 43 Ω. W tej sytuacji szczytowa wartość prądu ładowania kondensatora jest mniejsza od 3A. Jest ona także mniejsza od średniej wartości prądu płynącego przez uzwojenia robocze silnika reluktancyjnego, która jest równa 5A.

Dzięki zastosowaniu dwójników RC o wymienionych parametrach zmniejszono ponad dziesięciokrotnie poziom sygnału zakłócającego, natomiast względny przyrost wartości pobieranej mocy elektrycznej był mniejszy od 1%.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do redukcji zakłóceń występujących w sygnale pochodnej prądu roboczego silnika reluktancyjnego posiadającego trzy oddzielne uzwojenia robocze, (L_1), (L_2), (L_3), w którym początek każdego z tych uzwojeń jest połączony poprzez odpowiednie łączniki (WP_1), (WP_2), (WP_3), do dodatniego bieguna napięcia zasilającego (U_z) i poprzez diody (DM_1), (DM_2), (DM_3) do ujemnego bieguna napięcia zasilającego (U_z) tak, że ujemny biegun napięcia zasilającego jest dołączony do anody każdej z tych diod, natomiast koniec każdego z tych uzwojeń roboczych silnika reluktancyjnego (L_1), (L_2), (L_3) jest połączony poprzez diody (DP_1), (DP_2), (DP_3) do dodatniego bieguna napięcia zasilającego (U_z) tak, że dodatni biegun napięcia zasilającego jest dołączony do katody każdej z tych diod i poprzez łączniki (WM_1), (WM_2), (WM_3), do jednego wyprowadzenia rezystora pomiarowego (R_p), którego drugie wyprowadzenie jest dołączone do ujemnego bieguna napięcia zasilającego (U_z), **znamienny tym**, że do każdej z diod (DP_1), (DP_2), (DP_3), których katody są połączone bezpośrednio do dodatniego bieguna napięcia zasilającego (U_z) są dołączone równolegle odpowiednie dwójniki (R_1C_1), (R_2C_2), (R_3C_3) będące szeregowym połączeniem rezystora i kondensatora.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wartości pojemności kondensatora w dwójnikach (R_1C_1), (R_2C_2), (R_3C_3) dobiera się tak, aby były, co najmniej dziesięciokrotnie większe od wartości pojemności własnej dren-źródło rozwartego łącznika (WM_1), (WM_2), (WM_3), który bezpośrednio łączy się z jednej strony z rezystorem pomiarowym (R_p), a z drugiej strony z uzwojeniem roboczym, dwójnikami (R_1C_1), (R_2C_2), (R_3C_3) oraz anodami diod (DP_1), (DP_2), (DP_3).

Rysunki

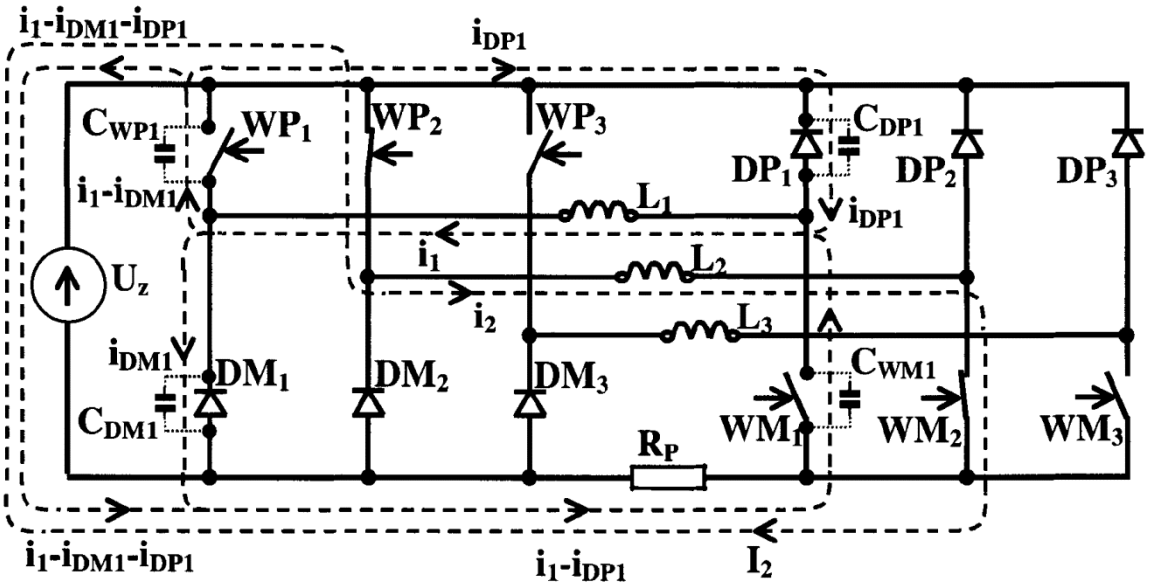

Fig. 1

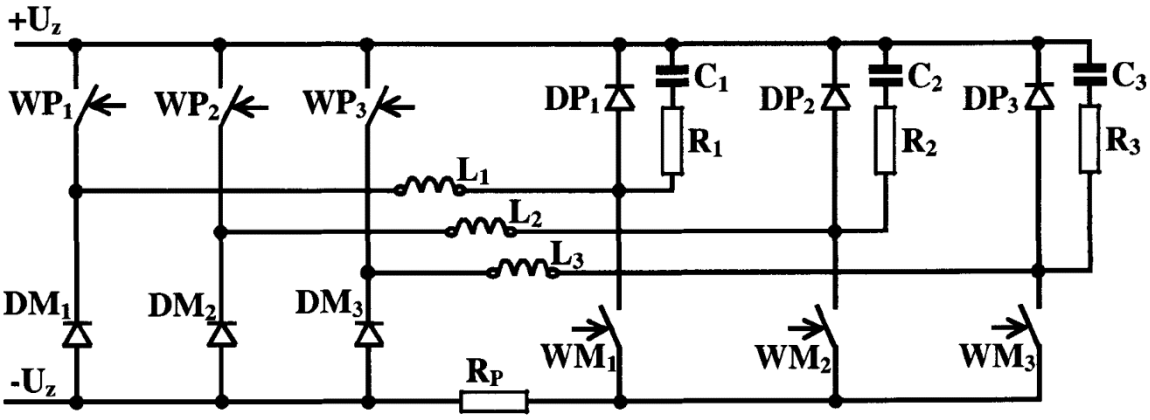

Fig.2

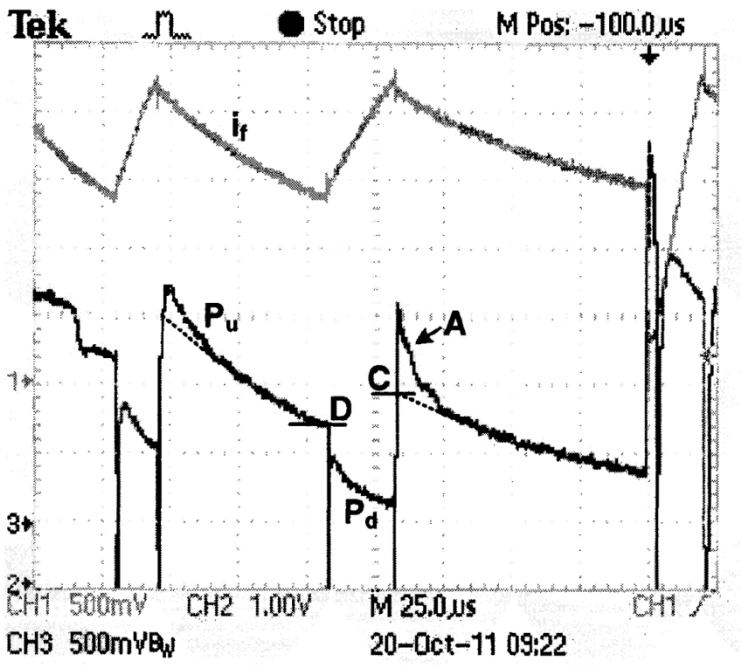
Tek
Stop
M Pos: -100.0µs
i_f
P_u
A
C
D
P_d
CH1 500mV
CH2 1.00V
M 25.0µs
CH1
CH3 500mVBW
20-Oct-11 09:22

Fig. 3

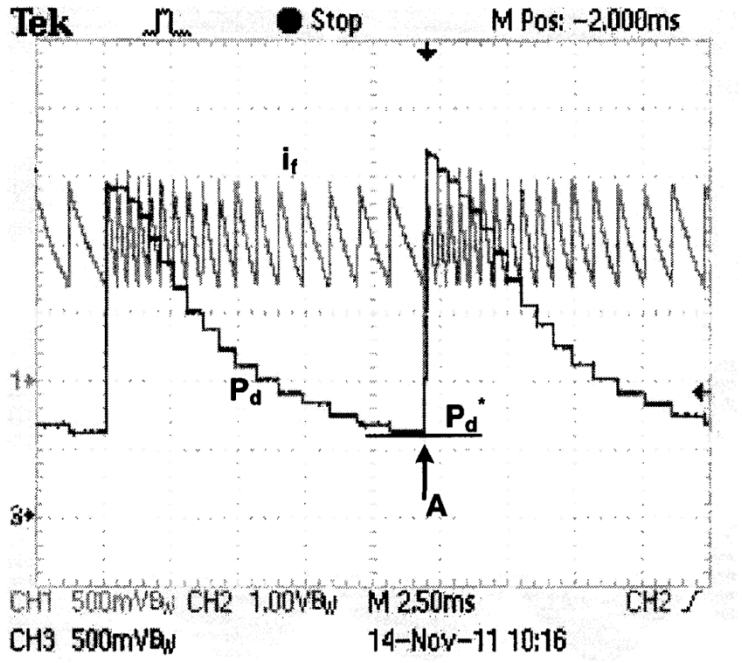
Tek
Stop
M Pos: -2.000ms
i_f
P_d
P_d^*
A
CH1 500mVBW
CH2 1.00VBW
M 2.50ms
CH2
CH3 500mVBW
14-Nov-11 10:16

Fig. 4

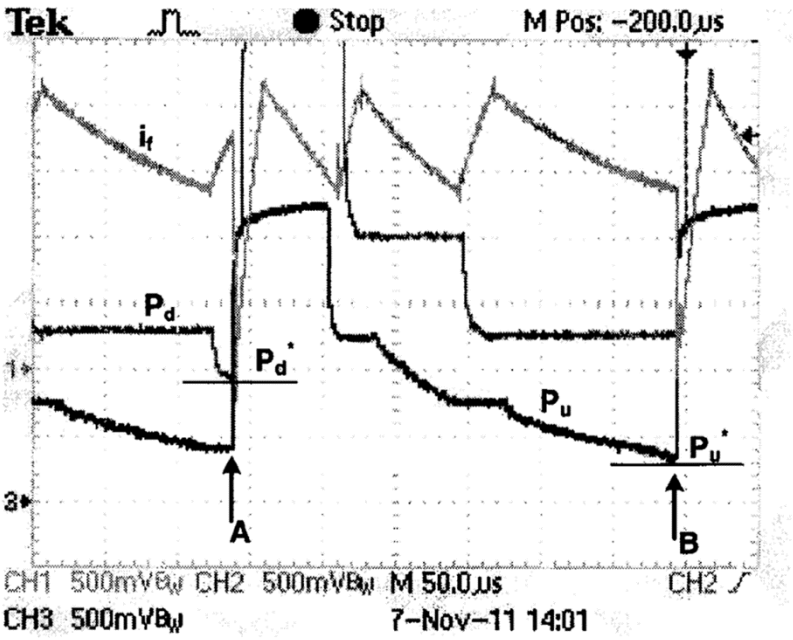
Tek
Stop
M Pos: -200.0µs
i_f
P_d
P_d^*
P_u
P_u^*
A
B
CH1 500mVBw CH2 500mVBw M 50.0µs CH2
CH3 500mVBw 7-Nov-11 14:01

Fig. 5

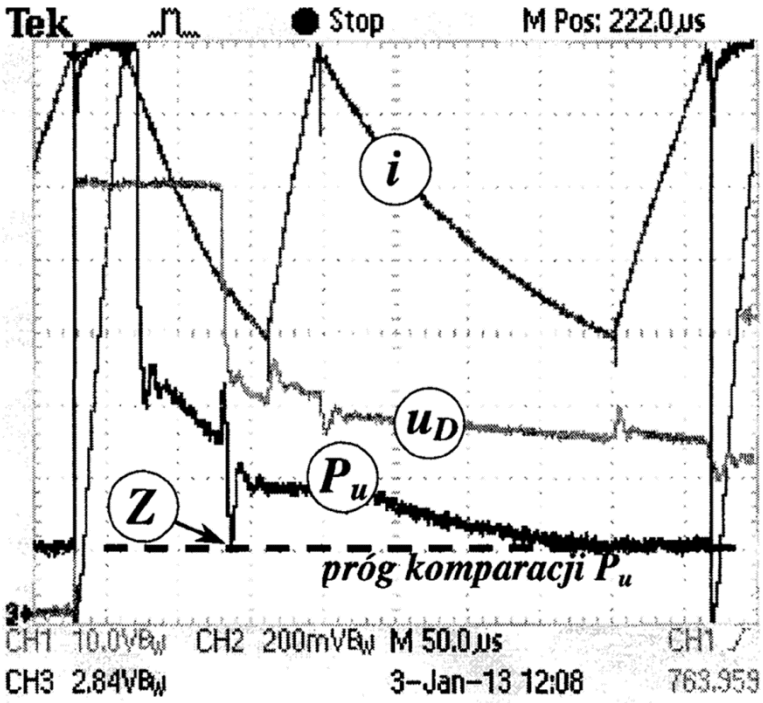
Tek
Stop
M Pos: 222.0µs
i
u_D
P_u
Z
próg komparacji P_u
CH1 10.0VBw CH2 200mVBw M 50.0µs CH1
CH3 2.84VBw 3-Jan-13 12:08 763.959

Fig. 6

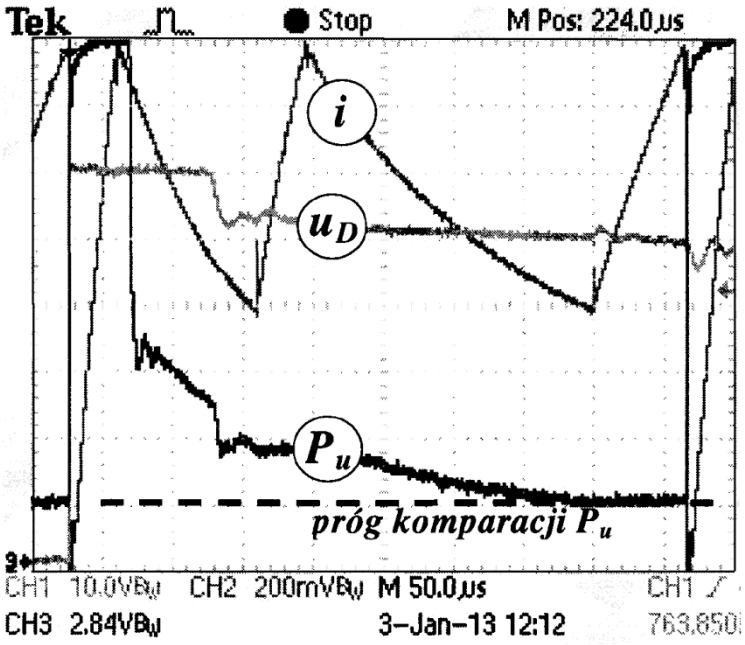
Tek
Stop
M Pos: 224.0µs
i
u_D
P_u
próg komparacji P_u
CH1 10.0V
CH2 200mV
M 50.0µs
CH1
CH3 2.84V
3-Jan-13 12:12

Fig. 7