

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **234475**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **416596**

(51) Int.Cl.

B23K 11/10 (2006.01)

B23K 11/24 (2006.01)

B23K 11/25 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **21.03.2016**

(54) **Sposób i zgrzewarka inwertorowa do zgrzewania rezystancyjnego,
zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

25.09.2017 BUP 20/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

28.02.2020 WUP 02/20

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – INSTYTUT
SPAWALNICTWA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZYGMUNT MIKNO, Gliwice, PL
SZYMON KOWIESKI, Tychy, PL
ADAM PILARCZYK, Gliwice, PL
ANDRZEJ AMBROZIAK, Ramiszów, PL
MARCIN KORZENIOWSKI, Mirosławice, PL
PAWEŁ KUSTROŃ, Mirków, PL**

PL 234475 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i zgrzewarka inwertorowa do zgrzewania rezystancyjnego, zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, przeznaczone do stosowania w przemyśle motoryzacyjnym do zgrzewania cienkościennych metalowych elementów.

Zgrzewanie rezystancyjne punktowe jest jedną z najpowszechniej stosowanych metod spajania cienkich blach – szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym. Problemem bardzo często występującym podczas procesu zgrzewania jest ekspulsja, inaczej wyprysk ciekłego metalu z jądra zgrzeiny.

Zjawisko ekspulsji (wyprysku) ciekłego metalu występuje, gdy siły działające wewnątrz ciekłego jądra zgrzeiny przekraczają siły wywierane przez docisk elektrod. Ciśnienie powstałe wewnątrz ciekłego jądra zgrzeiny spowodowane jest przede wszystkim rozszerzalnością cieplną materiału zgrzewanego oraz wzrostem temperatury fazy ciekłej i ciśnieniem wywieranym przez pary metali gromadzące się w ograniczonej objętości. Ekspulsja ciekłego metalu jest powodem szeregu niekorzystnych zjawisk, które występują w procesie zgrzewania rezystancyjnego, powodujących: i) nadtopienie powłok ochronnych, którymi pokryte są elementy zgrzewane, ii) nadtopienie elektrod zgrzewarki, iii) zbyt głęboki wgniot po elektrodach w materiale zgrzewanym, iv) osadzanie się drobin (kropli) ciekłego metalu na elementach zgrzewanych, v) zagrożenie dla zdrowia obsługi zgrzewarki (uszkodzenie wzroku i ciała).

Zjawisko ekspulsji jest niekorzystne zarówno z punktu widzenia technologii procesu zgrzewania, jak i wytrzymałości oraz estetyki złącza.

Proces zgrzewania rezystancyjnego opisują trzy podstawowe parametry tj. prąd zgrzewania, czas zgrzewania oraz siła docisku elektrod w czasie zgrzewania, przy czym istnieje związek pomiędzy zmianą parametrów technologicznych procesu zgrzewania a parametrami elektrycznymi.

Znane są rozwiązania w których zjawisko ekspulsji w procesie zgrzewania wykrywa się na podstawie gwałtownych zmian prądu zgrzewania lub siły docisku elektrod, jak i innych parametrów podstawowych oraz parametrów od nich pochodnych, a proces zgrzewania prowadzi z eliminacją lub ograniczeniem skutków ekspulsji (wyprysku).

Z opisu zgłoszeniowego wynalazku JPS61014089 znany jest sposób zgrzewania punktowego, gdzie prąd zgrzewania na początku procesu ustawia według ustalonej wartości prądu ekspulsji, a w obszarze ekspulsji aktualną wartość tego prądu zgrzewania zmniejsza się do 0,5 do 0,9-krotności wartości pierwotnej i wynikowy prąd zgrzewania jest dostarczany przez co najmniej trzy cykle. Znana jest również technologia zgrzewania np.: dla stali nierdzewnej, którą prowadzi się z narastaniem prądu zgrzewania. Natomiast z opublikowanego opisu wynalazku JP2005262259 znany jest sposób zgrzewania oporowego punktowego, obejmujący dwa etapy, gdzie zgrzewanie w drugim etapie prowadzi się przy mniejszym prądzie zgrzewania, dłuższym czasie zgrzewania oraz z większą siłą docisku elektrod, w porównaniu z pierwszym etapem zgrzewania.

W pierwszym etapie siła docisku elektrod P_1 , prąd zgrzewania I_1 i czas zgrzewania T_1 , w stosunku do grubości (mm) najcieńszej płyty metalowej spośród szeregu płyt, spełnia warunki, w których: $0.8t_m \leq P_1 \leq 5t_m$, $3TM+5 \leq I_1$, $2 \leq T_1 \leq 6$, gdzie TM : grubość (mm) najcieńszej płyty metalowej spośród szeregu płyt, a zgrzewanie w drugim etapie, prowadzi się siłą nacisku P_2 , prądem zgrzewania I_2 i w czasie T_2 i spełnia warunki: $1.1P_1 \leq P_2 \leq 10P_1$, $0.5I_1 \leq I_2 \leq I_1$, $T_1 \leq T_2 \leq 10T_1$.

Z opisu wynalazku DE102012000462A1 znany jest sposób zgrzewania oporowego punktowego, gdzie kontrolowana i/lub regulowana jest siła docisku, jako funkcja mierzonego lub obliczanego parametru elektrycznego a także technologicznego.

Z opisu patentu US8450634B2 znany jest sposób zgrzewania oporowego oraz urządzenie do jego prowadzenia, które wyposażone jest w układ do wykrywania ekspulsji. Wspomniane urządzenie może wykrywać ekspulsję na podstawie zmiany napięcia pomiędzy elektrodami, wielkości przemieszczenia elektrody lub na podstawie zmiany wartości rezystancji. Ponadto może zawierać urządzenie monitorujące do monitorowania ilości doprowadzanego ciepła na jednostkę czasu, po wykryciu ekspulsji. Sposób prowadzenia zgrzewania oporowego według tego wynalazku obejmuje następujące etapy: wykrywanie ekspulsji; dostarczanie zaprogramowanego prądu zgrzewania, aż do wykrycia ekspulsji; i dostarczania prądu zgrzewania, w którym po wykryciu ekspulsji do zadanej wielkości prądu zgrzewania dodaje się dodatkowy prąd, i wprowadza aż do jej wygaśnięcia.

Rozwiązania wyżej opisane nie eliminują całkowicie zjawiska ekspulsji oraz niedostatecznie go ograniczają.

Z opisu patentu EP0153298 (B1) znane jest urządzenie do kontroli rezystancji elektrycznej, w szczególności do zgrzewania oporowego, przez detekcję czasowej zmiany parametrów, a mianowicie, prądu i/lub napięcia. Urządzenie wyposażone jest w czujniki do wykrywania chwilowych wartości parametrów oraz mikroprocesor do przekształcania tych wartości i generowania stopnia zbieżności zmiany z wartością zadaną dla urządzenia wyświetlającego lub w celu sterowania.

Znana jest również z opisu zgłoszonego wynalazku P.406887 zgrzewarka inwerterowa, zwłaszcza do zgrzewania rezystancyjnego punktowego, zawierająca sekcję prądu sieciowego, sekcję prądu oraz sekcję prądu o podwyższonej częstotliwości. W sekcji prądu o podwyższonej częstotliwości inwerter sterowany jest impulsami PWM (Pulse Width Modulation) o częstotliwości 30 kHz lub wyższej, wypracowywanej przez podrzędny układ sterowania na podstawie sygnału z pętli sprzężenia zwrotnego przetworzonego przez nadrzędny układ sterowania, a transformator wraz z prostownikiem w części wysokoprądowej usytuowane są tak, że zminimalizowana jest droga połączeń między nimi przy odpowiednio uformowanych kanałach przepływu cieczy czynnika chłodzącego zapewniających równomierność chłodzenia.

Sposób zgrzewania rezystancyjnego zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, prowadzi się urządzeniem zgrzewającym o częstotliwości 10 kHz i wyższej, w etapach, a podczas zgrzewania w czasie rzeczywistym mierzy wartość i ustala odchyłki od wielkości zadanych co najmniej jednego parametru zgrzewania spośród natężenia prądu, napięcia zgrzewania, przemieszczenia oraz siły docisku elektrod, charakteryzuje się tym, że dla stwierdzonych ponadnormatywnych odchyłek od wielkości zadanych mierzonych parametrów zgrzewania w czasie 0.3 ms – 1.0 ms ustala się ich wpływ na uzyskanie nominalnej wartości jądra zgrzeiny i koryguje wartość następnego impulsu danego parametru lub dopuszcza parametr z odchyłką, natomiast dla mierzonego w czasie detekcji t_d parametru siły docisku elektrod w warunkach ekspulsji dla odchyłki większej lub równej 10% wartości zadanej wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg21} ustala w zależności od czasu trwania zgrzewania i wstrzymuje na czas t_p przepływ prądu zgrzewania I_{zg1} , po czym wznowia się dostarczanie prądu zgrzewania I_{zg1} .

Wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg21} zmniejsza się o 20–40% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} .

Zgrzewanie prowadzi się przy stałym docisku elektrod.

W innym wariantcie sposób zgrzewania rezystancyjnego zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, prowadzi się urządzeniem zgrzewającym o częstotliwości 10 kHz i wyższej, w etapach, a podczas zgrzewania w czasie rzeczywistym mierzy wartość i ustala odchyłki od wielkości zadanych co najmniej jednego parametru zgrzewania spośród natężenia prądu, napięcia zgrzewania, przemieszczenia oraz siły docisku elektrod, charakteryzuje się tym, że dla stwierdzonych ponadnormatywnych odchyłek od wielkości zadanych mierzonych parametrów zgrzewania w czasie 0.3 ms – 1.0 ms ustala się ich wpływ na uzyskanie nominalnej wartości jądra zgrzeiny i koryguje wartość następnego impulsu danego parametru lub dopuszcza parametr z odchyłką, natomiast dla mierzonego w czasie detekcji t_d parametru siły docisku elektrod w warunkach ekspulsji dla odchyłki większej lub równej 10% wartości zadanej wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg22} zmniejsza się o 30–50% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} i po czasie detekcji t_d kontynuuje zgrzewanie, przy czym zgrzewanie prowadzi się przy stałym docisku elektrod.

Zgrzewarka inwerterowa do zgrzewania rezystancyjnego, zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, o częstotliwości 10 kHz i wyższej, wyposażona w układ sterowania zgrzewarki oraz układ wykrywania wyprysku, zawierająca sekcję przemiennika częstotliwości, transformator zgrzewarki, prostownik wysokoprądowy, elektrody zgrzewarki, charakteryzuje się tym, że w układzie docisku elektrod czujnik siły docisku elektrod wyjściem sygnałowym jest podłączony do wejścia analizatora, a wyjście analizatora jest podłączone do układu sterowania zgrzewarki, który steruje blokiem przemiennika częstotliwości.

Układ sterowania zgrzewarki jest wyposażony w bloki funkcjonalne do sterowania parametrami zgrzewania.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia wykrycie niekorzystnych zjawisk mających wpływ na tworzone złącze zgrzewane, w tym wyprysku ciekłego metalu i wyeliminowanie niedogodności związanych z tym zjawiskiem. Natomiast zgrzewarkę cechuje duża dynamika sterowania prądem zgrzewania wynikająca z nadsztywności analizy przebiegu dynamicznych zmian parametrów procesu. Ponadto sposób prowadzenia procesu zgrzewania pozwala na zwiększenie trwałości elektrod, poprawę jakości procesu

zgrzewania, wygląd zgrzeiny, brak kropli roztopionego metalu na elementach zgrzewanych, ograniczenie wielkości wgniotu elektrod, a także ma wpływ na zwiększenie komfortu pracy i bezpieczeństwo obsługi stanowiska.

Proces zgrzewania oraz zgrzewarka do jego prowadzenia, są przedstawione na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy zgrzewarki inwerterowej, a fig. 2, fig. 3 oraz fig. 4 przedstawiają zależności zmian wartości prądu zgrzewania w procesie.

Proces zgrzewania rezystancyjnego punktowego prowadzi się zgrzewarką inwerterową, pokazaną w przykładowym wykonaniu na fig. 1 w formie schematu blokowego. Zgrzewarka inwerterowa o podwyższonej częstotliwości 10 kHz i wyższej wraz z układem wykrywania wyprysku, zawiera w swojej strukturze cztery typowe sekcje: przemiennik częstotliwości PCz **1**, transformator zgrzewarki Tr **2**, prostownik wysokoprądowy P **3**, elektrody **4**, które wyposaża się w tensometryczny czujnik siły o zakresie pomiarowym 0–20 kN pomiędzy obsadami elektrod, co umożliwia rejestrację sygnału napięciowego proporcjonalnego do mierzonej siły. Dodatkowo zgrzewarka ma bloki funkcjonalne tj. czujnik siły docisku elektrod CSDE **5**, który swoim wyjściem sygnałowym jest podłączony do wejścia analizatora wartości siły docisku AN **6**, a wyjście analizatora podłączone jest do układu sterowania zgrzewarki USZg **7**, który steruje blokiem przemiennika częstotliwości PCz w zależności od algorytmu wypracowanego w układzie sterowania US1 **8**. Układ sterowania US1 **8** jest blokiem funkcjonalnym układu sterowania zgrzewarki USZg **7** i wraz z nim jest odpowiedzialny za sterowanie prądem zgrzewania zgrzewarki. Układ sterowania stanowi np. mikrokontroler lub procesor sygnałowy wyposażony w wejścia analogowe i przetwornik analogowo-cyfrowy o szybkości próbkowania co najmniej 100 kHz, umożliwia to detekcję zjawiska wyprysku w początkowej jego fazie, która trwa max. 1 ms.

Jak wyżej opisano zgrzewanie prowadzi się w etapach, urządzeniem zgrzewającym o częstotliwości 10 kHz, a podczas zgrzewania mierzy wartość natężenia prądu i napięcia zgrzewania, przemieszczenie oraz siłę docisku elektrod, przy czym uwzględnia się rodzaj i wielkość elektrod. Analiza dodatkowych parametrów procesu zgrzewania, pozwala na określenie wzajemnych relacji czasowych pomiędzy wszystkimi analizowanymi parametrami procesu zgrzewania.

Parametry zgrzewania poddaje się kontroli w czasie rzeczywistym, przy czym dla stwierdzonych ponadnormatywnych odchyłek od wielkości zadanych w czasie 0.3 ms – 1.0 ms ustala wpływ na uzyskanie nominalnej wartości jądra zgrzeiny i koryguje wartość następnego impulsu danego parametru lub dopuszcza parametr z odchyłką.

Sposób zgrzewania rezystancyjnego, zwłaszcza punktowego, objaśniono na fig. 2, fig. 3 i fig. 4, które przedstawiają zależności zmian wartości prądu i czasu jego przepływu przy niezmiennych pozostałych parametrach technologii tj. sile docisku, rodzaju i wielkość elektrod, przy czym wykres fig. 2 obrazuje impuls prądowy o wartości natężenia I_{zg1} i czasie trwania t_c dla typowej, jednoimpulsowej technologii zgrzewania, przy której uzyskiwany jest nominalny wymiar średnicy jądra zgrzeiny a wyprysk nie występuje.

Wykrycie niekorzystnego zjawiska, jakim jest wyprysk ma miejsce w czasie, gdy jądro zgrzeiny nie osiągnęło nominalnej średnicy, i kolejnym etapem po wykryciu wyprysku jest doprowadzenie do rozbudowy jądra i uzyskanie nominalnej średnicy. Możliwa jest technologia dwuimpulsowa z dodatkowym czasem przerwy pomiędzy impulsami prądu zgrzewania lub z drugim impulsem prądu zgrzewania, który następuje bezpośrednio po pierwszym zasadniczym impulsie prądu ale w obniżonej wartości.

W przypadku wykrycia ekspulsji (wyprysku) w analizatorze AN **6** wygenerowany jest sygnał blokady, który jest przesyłany do układu sterowania zgrzewarki USZg **7**, który z kolei wstrzymuje wysterowanie przepływu prądu zgrzewania. W dalszej kolejności układ sterowania US1 **8** poprzez układ sterowania zgrzewarki USZg **7**, steruje prądem drugiego impulsu by uzyskać nominalną wartości jądra zgrzeiny, a parametry zależą od czasu detekcji t_d (fig. 2, fig. 3) w którym wykryty został wyprysk.

W technologii dwuimpulsowej dla mierzonego w czasie detekcji t_d parametru siły docisku elektrod w warunkach ekspulsji dla odchyłki większej lub równej 10% wartości zadanej wstrzymuje się przepływ prądu zgrzewania I_{zg1} na czas t_p , ustala wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania w zależności od czasu trwania zgrzewania i wznawia dostarczanie prądu zgrzewania I_{zg21} przy stałym docisku elektrod. Wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg21} zmniejsza się o 20–40% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} .

Prowadzony w ten sposób proces zgrzewania ilustruje fig. 3, która przedstawia warunki dla prądu pierwszego impulsu o wartości natężenia I_{zg1} , i czasie trwania t_d oraz drugiego impulsu prądu I_{zg21}

o mniejszej wartości natężenia i o czasie trwania t_{21} z dodatkowym czasem przerwy t_p pomiędzy impulsami prądu głównego zgrzewania i impulsem dodatkowym. Proces prowadzony jest również dla uzyskania nominalnej średnicy jądra zgrzeiny, a łączny czas trwania impulsów prądu wynosi t_{c1} .

W innym wariantcie rozwiązania proces zgrzewania prowadzi się z drugim impulsem prądu zgrzewania, który następuje bezpośrednio po pierwszym zasadniczym impulsie prądu ale w obniżonej wartości. W warunkach ekspulsji w czasie nie dłuższym niż 0.3 ms wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg22} zmniejsza się o 30–50% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} i po czasie detekcji t_d kontynuuje zgrzewanie przy stałym docisku elektrod.

Powyżej opisany wariant technologii dwuimpulsowej ilustruje fig. 4, którą prowadzi się ze zmniejszonym prądem zgrzewania w warunkach ekspulsji (wyprysku), w przypadku wykrycia wyprysku po czasie detekcji t_d i kontynuacji zgrzewania z prądem I_{zg22} o mniejszej wartości natężenia i o czasie trwania t_{22} bezpośrednio po głównym impulsie prądu o wartości natężeniu I_{zg1} . Proces prowadzony jest dla uzyskania nominalnej średnicy jądra zgrzeiny a łączny czas trwania impulsów prądu wynosi t_{c2} .

Dla tak prowadzonego sposobu zgrzewania wyeliminowano niekorzystny efekt wyprysku, uzyskano nominalną średnicę jądra zgrzeiny.

Wykrycie wyprysku jest informacją do obsługi zgrzewarki o powstałych błędach systematycznych np. pokrywania się elektrod związkami pokryć ochronnych elementów zgrzewanych, nierównoległości elektrod, zbyt małej siły docisku lub innych możliwych błędach przypadkowych, zgrzewania krawędziowego itp. W tym przypadku obsługa może podjąć działania serwisowe, przywracające pierwotny stan techniczny zgrzewarki i prowadzić dalej proces zgrzewania.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zgrzewania rezystancyjnego zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, prowadzi się urządzeniem zgrzewającym o częstotliwości 10 kHz i wyższej, w etapach, a podczas zgrzewania w czasie rzeczywistym mierzy wartość i ustala odchyłki od wielkości zadanych co najmniej jednego parametru zgrzewania spośród natężenia prądu, napięcia zgrzewania, przemieszczenia oraz siły docisku elektrod, **znamienny tym**, że dla stwierdzonych ponadnormatywnych odchyłek od wielkości zadanych mierzonych parametrów zgrzewania w czasie 0.3 ms – 1.0 ms ustala się ich wpływ na uzyskanie nominalnej wartości jądra zgrzeiny i koryguje wartość następnego impulsu danego parametru lub dopuszcza parametr z odchyłką, natomiast dla mierzonego w czasie detekcji t_d parametru siły docisku elektrod w warunkach ekspulsji dla odchyłki większej lub równej 10% wartości zadanej wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg21} ustala w zależności od czasu trwania zgrzewania i wstrzymuje na czas t_p przepływ prądu zgrzewania I_{zg1} , po czym wznawia się dostarczanie prądu zgrzewania I_{zg21} .
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg21} zmniejsza się o 20–40% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} .
3. Sposób według zastrz. 1 albo 2 albo 3, **znamienny tym**, że zgrzewanie prowadzi się przy stałym docisku elektrod.
4. Sposób zgrzewania rezystancyjnego zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji, prowadzi się urządzeniem zgrzewającym o częstotliwości 10 kHz i wyższej, w etapach, a podczas zgrzewania w czasie rzeczywistym mierzy wartość i ustala odchyłki od wielkości zadanych co najmniej jednego parametru zgrzewania spośród natężenia prądu, napięcia zgrzewania, przemieszczenia oraz siły docisku elektrod, **znamienny tym**, że dla stwierdzonych ponadnormatywnych odchyłek od wielkości zadanych mierzonych parametrów zgrzewania w czasie 0.3 ms – 1.0 ms ustala się ich wpływ na uzyskanie nominalnej wartości jądra zgrzeiny i koryguje wartość następnego impulsu danego parametru lub dopuszcza parametr z odchyłką, natomiast dla mierzonego w czasie detekcji t_d parametru siły docisku elektrod w warunkach ekspulsji dla odchyłki większej lub równej 10% wartości zadanej wartość drugiego impulsu prądu zgrzewania I_{zg22} zmniejsza się o 30–50% w stosunku do wartości pierwszego impulsu prądu zgrzewania I_{zg1} i po czasie detekcji t_d kontynuuje zgrzewanie.
5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że zgrzewanie prowadzi się przy stałym docisku elektrod.

6. Zgrzewarka inwertorowa, zwłaszcza do zgrzewania rezystancyjnego, zwłaszcza punktowego w warunkach ekspulsji o częstotliwości 10 kHz i wyższej, wyposażona w układ sterowania zgrzewarki USZg (7) oraz układ wykrywania wyprysku, zawierająca sekcję przemiennika częstotliwości PCz (1), transformator zgrzewarki Tr (2), prostownik wysokoprądowy P (3) elektrody zgrzewarki (4), **znamienna tym**, że w układzie docisku elektrod czujnik siły docisku elektrod CSDE (5) wyjściem sygnałowym jest podłączony do wejścia analizatora AN (6), a wyjście analizatora jest podłączone do układu sterowania zgrzewarki USZg (7), który steruje blokiem przemiennika częstotliwości PCz.
7. Zgrzewarka według zastrz. 7, **znamienna tym**, że układ sterowania zgrzewarki USZg (7) jest wyposażony w bloki funkcjonalne US1 (8) do sterowania parametrami zgrzewania.

Rysunki

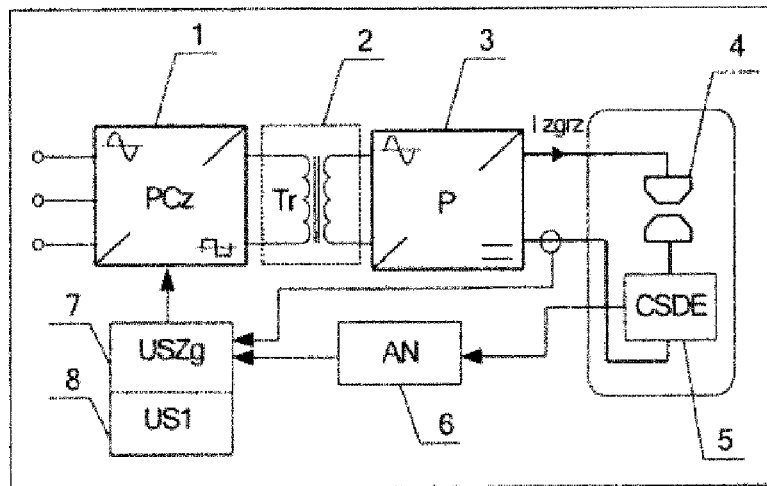


Fig.1

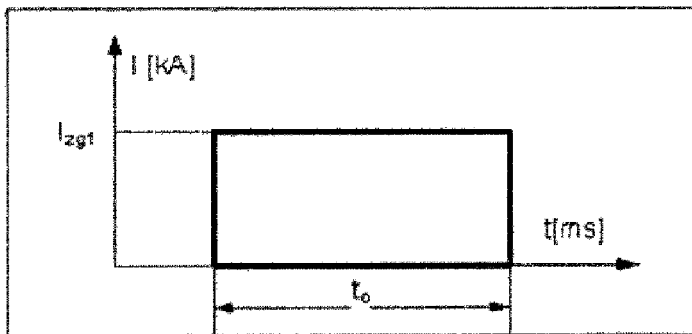


Fig.2

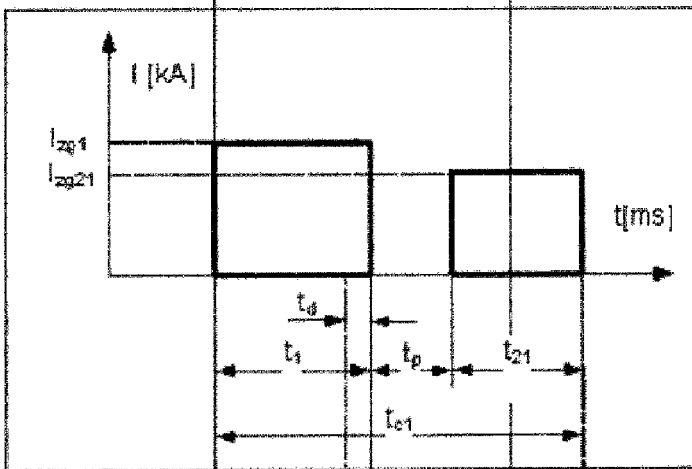


Fig.3

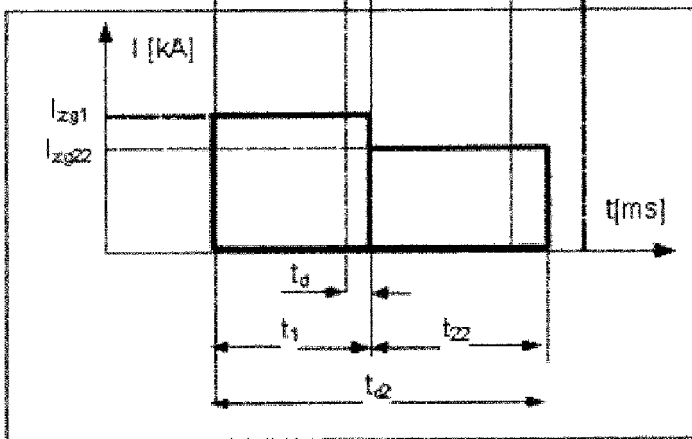


Fig.4