

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00466

(22) Data de depozit: 05/08/2021

(41) Data publicării cererii:
29/04/2022 BOPI nr. 4/2022

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA,
STR.ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13,
CRAIOVA, DJ, RO

(72) Inventatori:
• PREJBEANU RĂZVAN GABRIEL,
BD. CAROL I NR. 136, BL. J4, SC. 1, AP. 3,
CRAIOVA, DJ, RO;

• ROMAN MONICA GABRIELA,
STR.TURDA, NR.122, BUCUREȘTI, B, RO;
• MANDACHE LUCIAN,
STR. GHEORGHE DOJA NR. 42, CRAIOVA,
DJ, RO;
• SELIȘTEANU DAN, STR.CÂMPIA ISLAZ,
NR.13, CRAIOVA, DJ, RO

(54) SISTEM ADAPTIV DE ÎNCĂRCARE CONTROLATĂ
PENTRU CIRCUITUL INTERMEDIAR AL INVERTOARELOR
TRIFAZATE MULTINIVEL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un circuit destinat preîncărcării unui circuit intermediar de curent continuu în aplicațiile care utilizează invertore multi-nivel alimentate de la o rețea trifazată de tensiune ridicată. Circuitul conform invenției este realizat cu tiristoare (7, 8, 9) comandate de un circuit (4) inteligent de generare a impulsurilor care determină timpul și valoarea curentului de încărcare a circuitului (2) intermediar prin măsurarea unor parametri electrici, cu ajutorul unui bloc (5) de măsură, circuitul determinând scăderea influenței procesului de preîncărcare asupra rețelei (1) de alimentare utilizând comutarea puterii pe dispozitive electronice de putere, respectiv pe tiristoarele (7, 8, 9) menționate, conectate în serie între tensiunea de linie a rețelei (1) de alimentare și niște condensatoare ale circuitului (2) intermediar de curent continuu al inverterului (3) multi-nivel și controlate astfel încât ambele conexiuni ale condensatoarelor să fie deconectate în timpul perioadei în care nu se realizează încărcarea și să fie conectate electric în timpul procesului de încărcare controlată.

Revendicări: 3
Figuri: 4

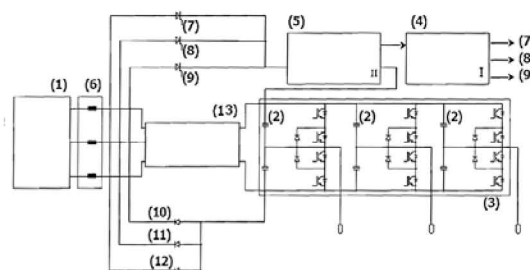


Fig. 1



SISTEM ADAPTIV DE ÎNCĂRCARE CONTROLATĂ PENTRU CIRCUITUL INTERMEDIAR AL INVERTOARELOR TRIFAZATE MULTINIVEL

Invenția se referă la un sistem adaptiv de încărcare a circuitului intermediar al invertoarelor multinivel alimentate de la rețeaua trifazată cu tensiunea nominală mai mare de 6kV curent alternativ. Tensiunea rețelei este aplicată de la fiecare fază, secvențial, în funcție de nivelul tensiunii, către circuitul intermediar cu menținerea curentului de încărcare constant la valoarea prescrisă, cu evitarea șocurilor de curent specifice conectării sarcinilor capacitive.

Este cunoscut faptul că invertoarele multinivel includ de obicei un redresor de putere sau un convertor de intrare cu comandă în modularea lățimii impulsului (**Pulse-width modulation - PWM**) cu factor de putere unitar (PFC), un circuit intermediar și la ieșire diferite topologii multinivel propriu zise. Când sistemul este alimentat, tensiunea de pe condensatoarele din circuitul intermediar crește de la zero la o valoare nominală, de obicei în jur de 8 000 până la 8 500 V pentru rețeaua de curent alternativ de 6 000 V și 50 Hz. Dacă această creștere a tensiunii din circuitul intermediar ar fi fost aplicată în mod natural, direct, timpul de creștere ar fi foarte scurt dar ar determina curenți electrici foarte mari atât în rețeaua de alimentare de la intrare, cât și prin redresor și în condensatoarele din circuitul intermediar. Acest curent mare, denumit curent de intrare, poate dăuna componentelor invertorului multinivel și poate provoca o cădere de tensiune importantă a tensiunii rețelei. Astfel, pentru a evita deteriorarea componentelor de putere și căderea de tensiune a rețelei electrice, creșterea tensiunii în circuitul intermediar al invertorului multinivel de la 0V la tensiunea nominală se realizează într-un mod controlat. Această creștere a tensiunii din circuitul intermediar de curent continuu este denumită preîncărcare controlată a circuitului intermediar.

În practică problema limitării curentului de încărcare este rezolvată prin aplicarea următoarelor metode tehnice:

(A) Introducerea unui sistem de preîncărcare realizat cu rezistoare de limitare a curentului de intrare prin conectarea acestora între rețeaua de alimentare și redresor, care ulterior sunt scurtcircuitate de un contactor.

(B) Încărcarea circuitului intermediar prin intermediul unui redresor în punte trifazată complet comandat sau semicomandat.

(C) Integrarea unui redresor auxiliar cu diode conectate fiecare în serie cu rezistoare secundare de preîncărcare, conectat în paralel cu modulul redresorului principal de putere.

În cazul metodei (A), este utilizat un contactor de preîncărcare pentru a conecta rezistoarele de preîncărcare între rețeaua de alimentare și redresor sau între redresor și circuitul intermediar de curent continuu. Aceste rezistoare de preîncărcare limitează curentul de intrare la un nivel convenabil. După finalizarea preîncărcării, rezistoarele de preîncărcare sunt excluse din circuit prin deschiderea contactorului de preîncărcare, iar linia de alimentare este conectată direct la redresor prin închiderea unui alt contactor, denumit contactor general de alimentare. Contactorul de alimentare rămâne închis în timpul funcționării sistemului. Această metodă este

utilizată în special pentru convertoarele de frecvență în care redresorul este realizat cu diode, care nu oferă mijloace pentru controlul curentului de intrare. Principalul dezavantaj al acestei metode constă în costul și dimensiunea componentelor sale, în particular al contactorului de alimentare, care poate avea un impact negativ asupra costului și gabaritului întregului inverter multinivel.

În cazul metodei (B), redresorul principal este utilizat pentru a realiza preîncărcarea. În acest caz, redresorul este cel puțin unul semicomandat, în care tiristoarele redresorului sunt astfel comandate încât să controleze curentul de intrare în timpul preîncărcării. După finalizarea preîncărcării, redresorul este comandat pentru a asigura unda de tensiune plină și tiristoarele conduc tot timpul, adică redresorul după preîncărcare funcționează ca un redresor cu diode.

În a treia metodă (C), redresorul cu diode și cu rezistență adițională înseriată ca redresor secundar este conectat în paralel cu modulul redresor principal al inverterului multinivel. Curentul de intrare este limitat de rezistoare, care constituie principalul dezavantaj al acestei soluții, deoarece curentul redresat parcurge rezistoarele de limitare pe toata durata preîncărcării și la funcționarea de lungă durată, cauzând astfel pierderi de energie disipate de aceste rezistoare.

Dezavantajele soluțiilor prezentate pot fi concluzionate astfel:

În timp ce metodele (A) și (B) au probleme de fiabilitate, gabarit – necesită radiator și izolație sporită - precum și consum de energie ridicată datorită utilizării rezistoarelor pentru limitarea curentului, metoda (C) este realizată și cu o soluție ce utilizează componente active de comutare care funcționează satisfăcător din punct de vedere al eficienței energetice și fiabilității, dar angrenează costuri, probleme cu distanțele de izolare și gabarit. Pentru metodele (B) și (C) un alt dezavantaj important este și acela că după terminarea procesului de preîncărcare a condensatoarelor circuitului intermediar nu se mai poate controla nivelul tensiunii și al riplului acesteia pe durata funcționării inverterului multinivel.

Conform invenției, sistemul adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al inverteoarelor trifazate multinivel determină funcționarea care se bazează pe faptul că, în timpul unui ciclu complet al unei alternanțe a tensiunii alternative de alimentare, câte un tiristor va permite trecerea doar a unei fracțiuni din curent spre circuitul intermediar.

Circuitul intermediar de curent continuu (2) este realizat cu condensatoare care filtrează tensiunea continuă și stochează energia necesară conversiei. Condensatoarele circuitului intermediar sunt înseriate, datorită, pe de o parte, tensiunii ridicate de lucru, iar pe de altă parte, datorită topologiei inverteoarelor multinivel. Circuitul intermediar de curent continuu al inverterului multinivel are un pol pozitiv și unul negativ, la polul pozitiv sunt conectate în serie la fazele rețelei de alimentare tiristoarele (7), (8) și (9) iar de la polul negativ la fazele rețelei diodele (10), (11) și (12) ca în figura 1. Varianta completă, figura 1, asigură controlul continuu și simetric al tensiunii din circuitul intermediar atât pe durata preîncărcării cât și pe durata funcționării efective a inverterului multinivel.

Sistemul funcționează similar și în cazul unei preîncărcări monofazate prin utilizarea unui singur tiristor (7) și a unei diode (12) ca în figura 2. Varianta simplificată, figura 2, asigură

controlul tensiunii din circuitul intermediar pe durata preîncărcării și controlează doar de pe o fază nivelul tensiunii în circuitul intermediar al invertoarelor multinivel. Principalul avantaj al soluției prezentate în figura 2 este determinat de simplificarea circuitului de putere prin reducerea numărului de componente electronice de putere la un singur tiristor (7) și o diodă (12) cu realizarea preîncărcării optime a circuitului intermediar.

Componentele de putere active sunt comandate astfel încât să permită încărcarea prin impulsuri a condensatoarelor circuitului de curent continuu al invertoarelor multinivel.

Această construcție permite încărcarea rapidă a condensatoarelor circuitului intermediar, asigurând în același timp controlul curentului de încărcare.

În plus, ca parte a circuitelor de preîncărcare, poate fi adăugat în serie un condensator cu circuitul intermediar pentru a limita valoarea maximă și panta impulsurilor curentului de încărcare.

Blocul generator de impulsuri (I) furnizează impulsurile de comandă pentru deschiderea tiristoarelor (7), (8) și (9) pentru varianta din figura 1 și se selectează doar impulsul de comandă pentru (7) pentru varianta din figura 2. Unghiul α , este unghiul de întârziere la aprinderea tiristoarelor față de trecerea prin 0 a tensiunii, este reglabil și se numește unghi de comandă. Valoarea medie a tensiunii aplicate circuitului intermediar în funcție de unghiul α și de valoarea efectivă a tensiunii rețelei U_2 (aceasta poate fi tensiunea din secundarul unui transformator de adaptare) este prezentată în relația 1.

$$U_M = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (1)$$

Valoarea curentului de încărcare a condensatoarelor din circuitul intermediar, ca funcție de timp, este:

$$i_c(t) = I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

unde: $\tau = RC$ este constanta de timp de încărcare a condensatoarelor circuitului intermediar ce depinde de capacitatea acestora și de rezistența echivalentă a circuitului de intrare.

$I_{max} = \sqrt{2}U_2/R$ este valoarea instantanee maximă pe care o poate avea curentul de încărcare în cazul cel mai defavorabil când unghiul de comandă este nul și condensatorul este complet descărcat. Sistemul reglează automat timpul de încărcare în funcție de capacitatea condensatoarelor și de valoarea curentului de încărcare.

O semiperioadă a tensiunii rețelei de alimentare (1) este de 180° (π). În acest interval unda de tensiune trece prin zero de două ori, α poate lua valori de la 0° la 180° (de la 0 la π). Când $\alpha=0^\circ$, curentul de încărcare al circuitului intermediar este maxim, iar când $\alpha = \pi$, tiristorul rămâne blocat, curentul către circuitul intermediar este zero.

Blocul (I) generator de impulsuri transmite impulsurile de comandă ale tiristoarelor (7), (8) și (9) printr-un circuit electronic inteligent (4), prezentat în figura 4, care se compune din următoarele blocuri: detectorul de nul (14), generatorul de rampă de tensiune (15), comparatorul (16), circuitul monostabil (17), blocul logic (18) și etajul de ieșire (19).

Detectorul de nul trifazat (14) sesizează trecerea prin zero a tensiunilor celor trei faze ale rețelei de alimentare (1) și adaptează nivelul de tensiune al impulsurilor la cel al elementelor de comandă. La fiecare trecere prin zero a tensiunii fiecărei faze a rețelei (1), detectorul generează impulsuri de sincronizare.

Generatorul de tensiune liniar variabilă (15) transmite un semnal liniar crescător declanșat de fiecare impuls generat de detectorul de nul în perioada dintre două impulsuri de trecere prin zero (durata acestei rampe de tensiune este de 10ms pentru o rețea de alimentare cu frecvența de 50 Hz) și generează de asemenea și un impuls de declanșare către circuitul monostabil sincronizat cu trecerea prin zero a fiecărei faze a rețelei trifazate (1).

Comparatorul (16) realizează compararea semnalului generatorului de rampă de tensiune cu referința obținută prin prelucrarea semnalului de curent măsurat obținut la ieșirea blocului inteligent de măsură (II) în raport cu timpul de încărcare al circuitului intermediar obținând-se reglajul unghiului de conducție.

Circuitul monostabil (17) are rolul de a genera impulsurile de comandă pentru tiristoare și adaptează durata acestor impulsuri la tipul tiristoarelor.

Blocul logic (18) realizează protecția circuitului de comandă și transmite impulsurile generate de circuitul monostabil.

Etajul de ieșire (19) are rolul de a adapta impulsurile de comandă în funcție de tipul de tiristoare utilizate corespunzătoare semialternanței pozitive a semnalului rețelei de alimentare.

Toate blocurile funcționale se păstrează și au aceeași funcționalitate și pentru varianta simplificată atunci când se generează doar o secvență de impulsuri pentru un singur tiristor ca în figura 2.

Sistemul adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel prezintă următoarele avantaje:

- are gabarit redus și o structură compactă și, prin urmare, poate reduce dimensiunile totale ale invertorului multinivel ce funcționează la tensiune ridicată.
- reduce costul invertorului multinivel prin eliminarea necesității achiziționării de componente costisitoare cum ar fi contactoarele utilizate la tensiuni ridicate (6kV c.a.).
- crește fiabilitatea totală a invertorului multinivel ce funcționează la tensiune ridicată prin eliminarea componentelor electromecanice supuse uzurii.
- asigură încărcarea continuă a circuitului intermediar al invertoarelor multinivel care elimină astfel riplul tensiunii și realizează creșterea performanțelor energetice.

Se dă în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură și cu figurile 1, 2, 3, 4 care reprezintă:

- figura 1, schema bloc a sistemului adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel cu preîncărcare trifazată;
- figura 2, schema bloc a sistemului adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel cu un singur nivel de preîncărcare, monofazată;
- figura 3, diagrama de comandă a tiristoarelor;
- figura 4, schema bloc a circuitului generator de impulsuri.

REVENDICĂRI

1. Sistem adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel **caracterizat prin aceea că** circuitul intermediar (2) de curent continuu al inverterului multinivel (3) alimentat de la o rețea trifazată (1) este comandat printr-un circuit electronic inteligent (4) în varianta completă din figura 1 și în varianta simplificată din figura 2.
2. Sistem adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este comandat printr-un bloc (I) generator de impulsuri obținute printr-un circuit electronic inteligent (4) care furnizează impulsuri de comandă tiristoarelor atât în varianta completă cât și în varianta simplificată.
3. Sistem adaptiv de încărcare controlată pentru circuitul intermediar al invertoarelor trifazate multinivel, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** blocul inteligent de măsură al curentului și al tensiunii (II) menține constant curentul de încărcare prin intermediul circuitului de măsură (5) realizat cu traductoare rapide cu senzori Hall.

DESENE

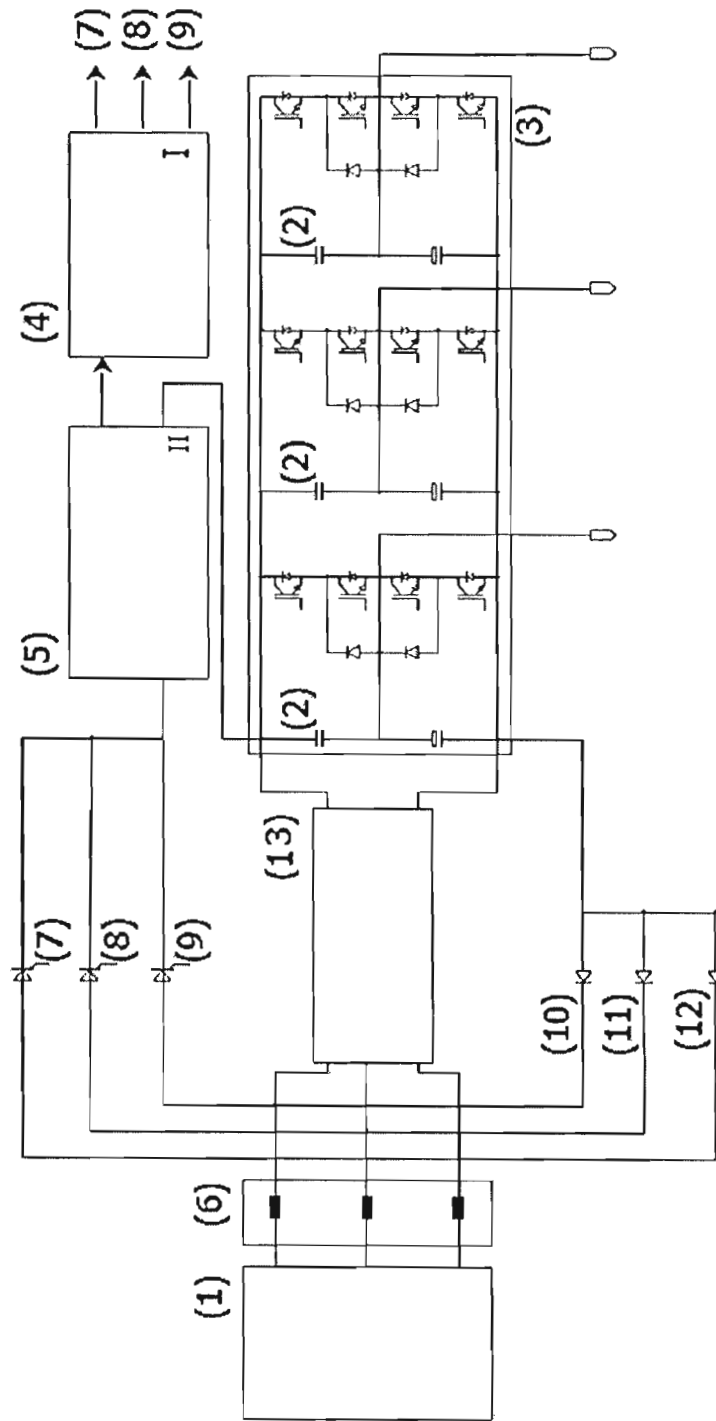


Figura 1.

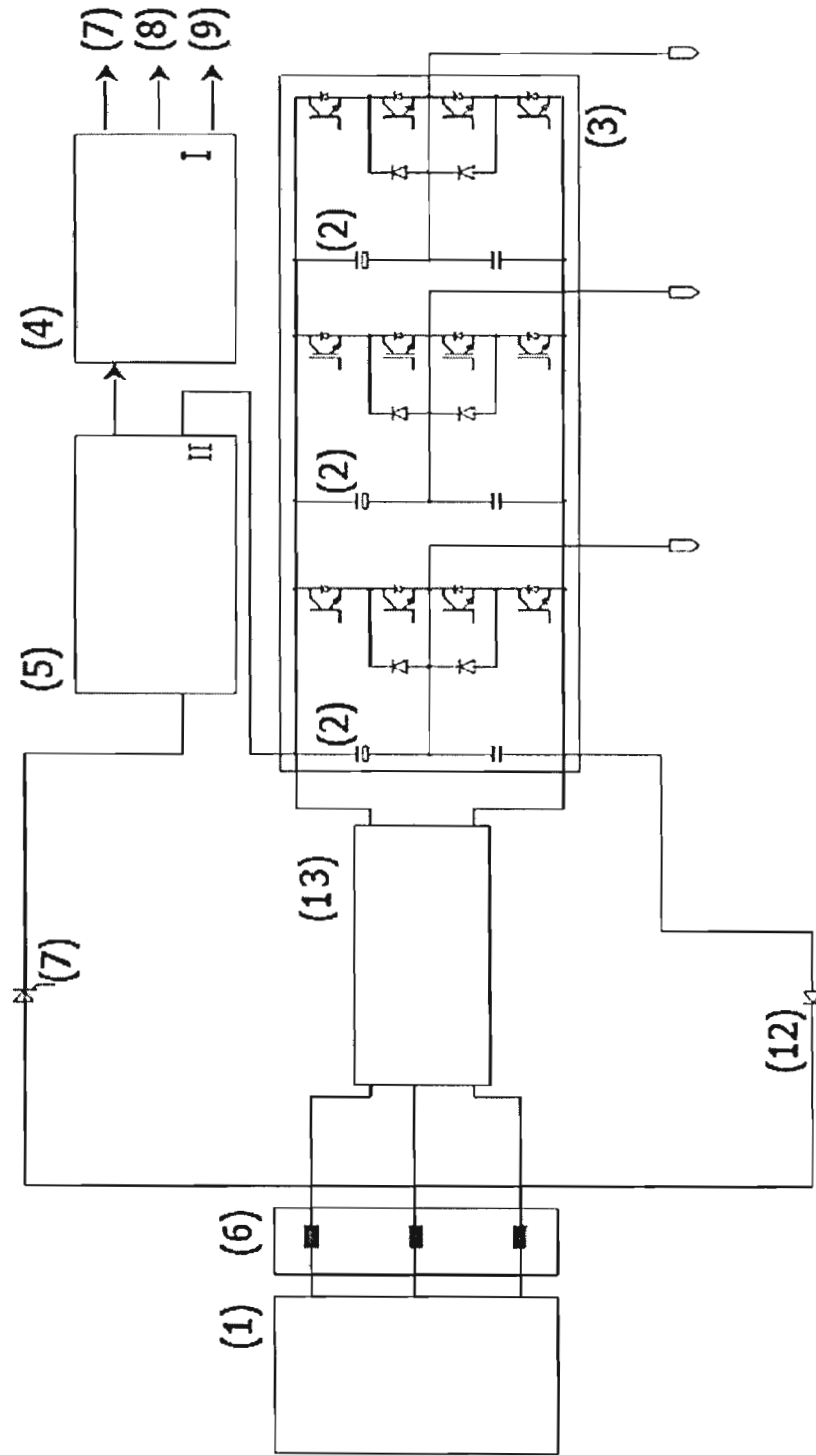


Figura 2.

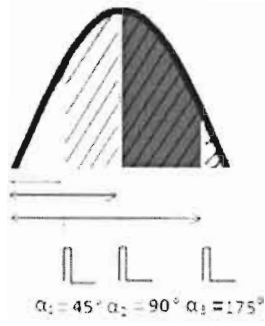


Figura 3.

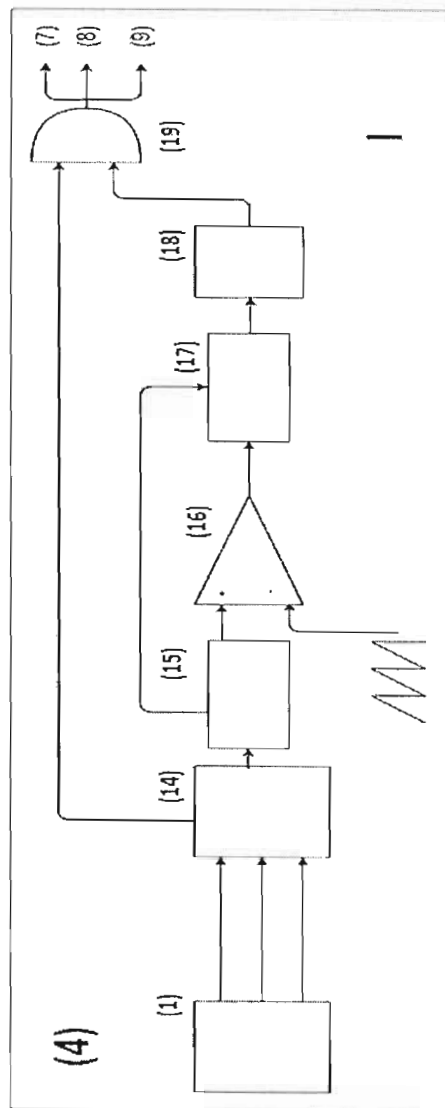


Figura 4.