

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00254

(22) Data de depozit: 14/05/2021

(41) Data publicării cererii:  
29/11/2022 BOPI nr. 11/2022

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE-CA,  
SPLAIUL UNIRII NR.313, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• VASILE IONUȚ, STR.IZVORUL RECE,  
NR.7, BL.A8, SC.2, AP.53, SECTOR 4,  
BUCUREȘTI, B, RO;

• SBURLAN ION-CĂTĂLIN,  
CALEA GIULEȘTI, NR.46, BL.4, SC.B,  
AP.47, BUCUREȘTI, B, RO;  
• TUDOR EMIL, STR. ALEXANDER VON  
HUMBOLDT NR.5, BL.V23 A, SC.1, ET.7,  
AP.22, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;  
• CONSTANTIN ALEXANDRU-IONEL,  
INTRAREA NUFERILOR, NR.16, BL.2, ET.3,  
AP.18, LOCALITATEA ROȘU, IF, RO;  
• DUMITRU CONSTANTIN,  
STR. CONSTANTIN BRĂTESCU, NR.16 A,  
TULCEA, TL, RO

(54) CONVERTIZOR STATIC DESTINAT ALIMENTĂRII  
MOTOARELOR ASINCRONE PENTAFAZATE ȘI METODA  
DE COMANDĂ PENTRU TRATAREA UNUI DEFECT CAUZAT  
DE ÎNTRERUPEREA UNEI FAZE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un convertizor static penta-fazat destinat alimentării motoarelor electrice asincrone penta-fazate și la o metodă de comandă în cazul apariției unui defect cauzat de întreruperea unei faze. Convertizorul conform invenției este constituit din zece comutatoare (4, 5, ..., 13) electronice de putere, cinci dintre comutatoare (4, 5, ..., 8) fiind conectate la polaritatea pozitivă a unei surse de tensiune continuă, iar celelalte cinci comutatoare (9, 10, ..., 13) fiind conectate la polaritatea negativă a sursei de tensiune continuă, comutatoarele (4, 5, ..., 13) fiind comandate de un bloc (14) electronic de comandă cu microprocesor care generează la ieșirea convertizorului pulsuri de tensiune cu durată variabilă care, aplicate unui motor (3), au ca efect stabilirea unor curenți alternativi cu formă de undă sinusoidală prin fazele motorului, curenții ce vor fi măsurați cu ajutorul unor traductoare (20, 21, ..., 24) de curent care vor furniza informații despre valoarea instantanee a acestora care, împreună cu informația privind tensiunea continuă de alimentare, furnizată de un traductor (31) de tensiune continuă, și cu informația privind turația, furnizată de un traductor (33) de turație, vor fi prelucrate de blocul (14) de comandă pentru reglarea cuplului și turației motorului (3). Metoda de comandă constă în monitorizarea celor cinci curenți de fază astfel încât, în cazul în care unul dintre curenți este nul o perioadă determinată de timp, blocul de comandă semnalează lipsa fazei corespunzătoare și reglează pulsurile de comandă a comutatoarelor pentru a obține curenții prin fazele sănătoase de la

ieșirea convertizorului astfel încât să fie separate în două grupuri de câte doi curenți, cu un defazaj în interiorul grupului de 72° și un defazaj între cele două grupuri de 108°, pentru a produce în continuare cuplu motor util și reglează lățimea pulsurilor astfel încât curentul pe fiecare fază sănătoasă a motorului să nu depășească valoarea nominală.

Revendicări: 2

Figuri: 6

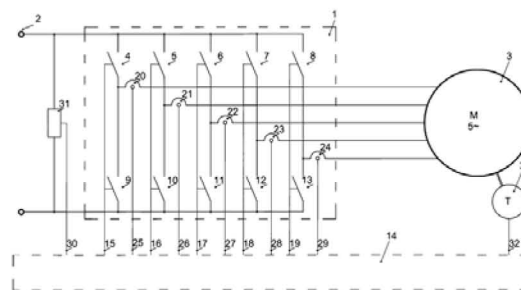


Fig. 2



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. <u>a 2021 0254</u>
Data depozit <u>1.4.2021</u>

### Descrierea invenției

Titlul Invenției: CONVERTIZOR STATIC DESTINAT ALIMENTĂRII MOTOARELOR ASINCRONE PENTAFAZATE ȘI METODA DE COMANDĂ PENTRU TRATAREA UNUI DEFECT CAUZAT DE ÎNTRERUPEREA UNEI FAZE

**Domeniul tehnic:** *Inginerie Electrică, Subdomeniul Mașini și Acționări Electrice, Ramura Convertizoare electronice pentru alimentarea motoarelor electrice.*

**Invenția se refera la un convertizor** static penta-fazat destinat alimentării motoarelor electrice asincrone penta-fazate și **la o metoda** de comanda în cazul apariției unui defect cauzat de întreruperea unei faze.

**Stadiul actual al tehnicii mondiale** cuprinde referințe despre echipamente destinate acționării motoarelor electrice asincrone polifazate, brevetate și aflate în stare de comercializare, însă acestea se refera la soluția de convertizor cu șase faze ce acționează un motor electric cu șase faze, convertizorul fiind practic realizat din două convertizoare trifazate puse în paralel iar motorul prezintă două înfășurări trifazate puse în același stator. În cazul apariției unei întreruperi de fază acestea nu pot asigura parametrii optimi de funcționare datorită imposibilității acestora a izola defectul respectiv, în cazul apariției unui defect, unul dintre cele două convertizoare trifazate se oprește iar motorul devine practic un motor trifazat cu putere redusă.

**Sunt cunoscute** o serie de convertizoare care nu tratează eficient cazul în care una dintre fazele unui sistem de acționare electrică cu motor asincron penta-fazat se întrerupe sau se rezumă la cazul sistemelor de acționare cu motoare polifazate sincrone cu magneți permanenți. De exemplu soluția prezentată în US9450482B2 se refera doar la identificare unui defect și la protecția convertizorului în cazul unui scurtcircuit, iar soluțiile prezentate în US20120313564A1 și US9787237B2 se referă la sisteme de acționare cu motoare cu magneți permanenți polifazate.

**Scopul invenției**, problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în alimentarea unui motor asincron penta-fazat de la un convertizor static penta-fazat în condiții normale de funcționare precum și metoda de comandă a convertizorului în cazul în care una dintre fazele de alimentare se întrerupe.

#### **Invenția prezintă următoarele avantaje:**

- permite acționarea unui motor electric asincron penta-fazat în condiții optime;
- permite funcționarea în cazul în care una dintre faze se întrerupe asigurând astfel redundanța acolo unde acest lucru este critic;
- permite acționarea unui număr mare de combinații de sarcini electrice, printre care motor asincron trifazat plus convertizor de încărcare a bateriilor de la bordul vehiculelor electrice, convertizor de încărcare a bateriilor electrice și a supercapacitorilor, motor trifazat cu magneți permanenți și punte de recuperare a energiei de frânare.

Se prezintă în continuare un **exemplu de realizare a invenției**, în legătură cu figurile 1 - 6, care reprezintă:

- figura 1, schema bloc a convertizorului penta-fazat care alimentează un motor asincron penta-fazat;

- figura 2, schema internă a convertizorului pentafazat;
- figura 3, schema blocului de comandă;
- figura 4, schema de reglare implementată de către blocul de comandă;
- figura 5, schema blocului de generare a pulsurilor de comandă;
- figura 6a, diagrama vectorială a curenților de fază în timpul funcționării normale;
- figura 6b, diagrama vectorială a curenților de fază în cazul unei întreruperi de fază;
- figura 6c, diagrama vectorială a curenților de fază în cazul introducerii corecției necesare pentru a permite funcționarea cu o fază întreruptă.

Întreg sistemul de acționare este reprezentat schematic în figura 1 unde convertizorul pentafazat (1) este alimentat de la o sursă de curent continuu (2), acesta alimentând la rândul său un motor electric asincron pentafazat (3).

Convertizorul (1), prezentat în detaliu în figura (2), este compus din zece comutatoare electronice de putere, cinci dintre acestea, (4), (5), (6), (7), (8), fiind conectate la polaritatea pozitivă a sursei de tensiune continuă, iar celelalte cinci, respectiv, (9), (10), (11), (12), (13), fiind conectate la polaritatea negativă a sursei de tensiune continuă, acestea fiind comandate de blocul electronic de comandă (14) prin comenzile (15), (16), (17), (18), (19), folosind tehnica modulației în lățime a pulsurilor, care generează la ieșirea convertizorului pulsuri de tensiune cu durată variabilă care, aplicate motorului (3), au ca efect stabilirea unor curenți alternativi cu forma de undă sinusoidală prin fazele motorului, curenții ce vor fi mășurați de către traductoarele de curent (20), (21), (22), (23) și (24) ce vor furniza informații, (25), (26), (27), (28) și (29), despre valoarea instantanee a acestora, care împreună cu informația de tensiune de alimentare (30) furnizată de traductorul de tensiune continuă (31) și informația de turație motor (32) furnizată de către traductorul de turație (33) vor fi procesate de către blocul de comandă (14) pentru reglarea cuplului și turației motorului (3).

Blocul de comandă (14) prezentat în figura 3, este realizat cu microprocesor, care realizează calculul lățimii pulsului de comandă folosind teoria reglării cu orientare după câmpul magnetic al motorului de curent alternativ, metodă în care informația referitoare la prescrierea de cuplu (34) și prescrierea de turație (35) dorite a fi realizate de către motor, sunt prelucrate numeric astfel încât să poată fi comparate cu informațiile (25), (26), (27), (28) și (29) provenite de la traductoarele de curent, (20), (21), (22), (23), (24) și astfel, să poată fi determinată lățimea pulsurilor de comandă (15), (16), (17), (18) și (19) în funcție de diferența dintre cele două seturi de informații.

Reglarea cu orientarea după câmpul magnetic al motorului descrisă în figura 4 se referă la un model matematic al motorului asincron (3) care propune ca informația (25), (26), (27), (28) și (29) provenită de la traductoarele de curent (20), (21), (22), (23) și (24) să fie prelucrată astfel încât să se facă trecerea de la un sistem de 5 semnale sinusoidale de curent,  $i_A, i_B, i_C, i_D, i_E$  notate cu (36), (37), (38), (39) și (40), la un sistem de 4 curenți  $i_D, i_Q, i_X, i_Y$ , notați cu (41), (42), (43) și (44) cu ajutorul matricelor  $C$  și  $P$  din formulele [1], [2]:

$$C = \frac{2}{5} \begin{bmatrix} 1 & \cos \frac{2\pi}{5} & \cos \frac{4\pi}{5} & \cos \frac{6\pi}{5} & \cos \frac{8\pi}{5} \\ 0 & \sin \frac{2\pi}{5} & \sin \frac{4\pi}{5} & \sin \frac{6\pi}{5} & \sin \frac{8\pi}{5} \\ 1 & \cos \frac{4\pi}{5} & \cos \frac{8\pi}{5} & \cos \frac{12\pi}{5} & \cos \frac{16\pi}{5} \\ 0 & \sin \frac{4\pi}{5} & \sin \frac{8\pi}{5} & \sin \frac{12\pi}{5} & \sin \frac{16\pi}{5} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad [1]$$

$$P = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad [2]$$

Unde, în formula (2) unghiul  $\theta$  reprezintă poziția motorului, (45), informație furnizată de către traductorul de viteză (33) prin semnalul de turație (32), transformarea fiind dată de următoarea ecuație matriceală [3]:

$$\begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \\ i_X \\ i_Y \end{bmatrix} = [P][C] \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_D \\ i_E \end{bmatrix} \quad [3]$$

Folosind o astfel de transformare, ecuațiile [4], [5] și [6] care fac legătura dintre cuplul și câmpul magnetic al motorului și curenții de pe fiecare fază (36), (37), (38), (39) și (40) devin liniare, curentul  $i_D$  (41) fiind direct proporțional cu intensitatea câmpului magnetic  $\psi_m$  (46), reglarea acestuia permițând controlul saturației magnetice a motorului, curentul  $i_Q$  (42) fiind direct proporțional cu cuplul motor  $M$  (47), iar cei doi curenți  $i_X$  (43) și  $i_Y$  (44) fiind direct proporționali cu pierderile suplimentare din motor  $P_{sup}$ :

$$\psi_m = L_m \cdot i_D \quad [4]$$

$$M = k_t \cdot i_Q \quad [5]$$

$$P_{sup} = f(i_X, i_Y) \quad [6]$$

unde  $k_t$  și  $L_m$  reprezintă constanta de cuplu a motorului, respectiv inductivitatea de magnetizare a motorului, valori determinate de producătorul motorului.

Pentru a realiza comparația între mărimile impuse, cuplul (34) și turația (35), și curenți măsurați  $i_D$ ,  $i_Q$ ,  $i_X$ ,  $i_Y$ , (41), (42), (43) și (44), blocul de comandă (14) realizează conversia acestor mărimi impuse în curenți de referință  $i_D^*$ ,  $i_Q^*$ ,  $i_X^*$ ,  $i_Y^*$ , (48), (49), (50) și (51), folosind ecuații similare cu [4], [5] și [6], astfel curentul impus  $i_Q^*$  (49), va fi proporțional cu cuplul impus  $M^*$  (34), curentul impus  $i_D^*$  (48) va fi proporțional cu câmpul magnetic impus  $\psi_m^*$ , (52), iar cei doi curenți  $i_X^*$  (50) și  $i_Y^*$  (51) vor fi impuși direct cu valoare nulă pentru a minimiza pierderile suplimentare în motor, aceste proporționalități fiind descrise de ecuațiile [7], [8] și [9]:

$$i_Q^* = \frac{M^*}{k_t} \quad [7]$$

$$i_D^* = \frac{\psi_m^*}{L_m} = \frac{U_{CC}}{n^* \cdot L_m} \quad [8]$$

$$i_X^* = i_Y^* = 0 \quad [9]$$

unde câmpul magnetic impus  $\psi_m^*$  (52) este direct proporțional cu valoarea tensiunii continue  $U_{CC}$  (30) ce alimentează convertizorul (1) și invers proporțional cu valoarea turației impuse  $n^*$  (35), iar constantele  $k_t$  și  $L_m$  au aceeași semnificație ca și în cazul precedent, respectiv constanta de cuplu a motorului și inductivitatea de magnetizare a motorului.

Conform schemei din figura 4, având calculați curenții de referință  $i_D^*$ ,  $i_Q^*$ ,  $i_X^*$ ,  $i_Y^*$ , (48), (49), (50), (51) și curenții  $i_D$ ,  $i_Q$ ,  $i_X$ ,  $i_Y$ , (41), (42), (43), (44) corespunzători curenților de fază  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ,  $i_D$ ,  $i_E$ , (36), (37), (38), (39) și (40), se pot determina lățimile pulsurilor de comandă (53), (54), (55), (56) și (57) pentru comutatoarele convertizorului static prin introducerea erorii dintre mărimile impuse și cele măsurate într-un regulator numeric (58), care generează valorile variabilelor de referință  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$ ,  $u_D$ ,  $u_E$  (59), (60), (61), (62) și (63).

Așa cum este prezentat în figura 5, lățimea pulsurilor de comandă (53), (54), (55), (56) și (57) este direct proporțională cu valoarea amplitudinii acestor variabile (59), (60), (61), (62) și (63). Aceste pulsuri de comanda vor fi adaptate și izolate galvanic de către blocul de comanda (14), aceste noi semnale, (15), (16), (17), (18), (19), fiind folosite pentru comanda comutatoarelor (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13).

Pentru a realiza protecția în cazul unui defect cauzat de întreruperea unei faze, conform descrierii din figura 6a, blocul de comanda (14) monitorizează valorile curenților de fază (36), (37), (38), (39) și (40), iar în cazul descris în figura 6b, în care unul dintre curenți – exemplul curentul  $i_A$  (36) devine nul pentru o perioadă predefinită de timp, blocul de comanda (14) ia decizia de a semnaliza un defect cauzat de întreruperea unei faze și în același timp va regla pulsurile de comandă (53), (54), (55), (56) și (57) astfel încât sistemul de tensiuni de la ieșirea convertizorului să producă în motor un sistem de curenți capabil să asigure în continuare cuplu util, fără încălzirea excesivă a motorului.

Acest lucru va fi realizat, așa cum este descris în figura 6c, prin modificarea defazajului dintre vectorii de curent rămași funcționali (37), (38), (39) și (40) concomitent cu reglarea amplitudinii acestor vectori, operație ce este realizată de către blocul de comanda (14) prin impunerea directă a defazajului dintre variabilele (59), (60), (61), (62) și (63) care reprezintă tensiunile de referință ale convertizorului și prin reglarea lățimii pulsurilor de comanda (53), (54), (55), (56) și (57) pentru a limita suma curenților care parcurg motorul la o valoare corespunzătoare curentului nominal al motorului. Pentru a realiza un astfel de sistem de curenți, în cazul unui defect cauzat de întreruperea unei faze, blocul de comanda va grupa vectorii de curent rămași funcționali în două grupuri de câte doi vectori, (37) și (38), respectiv (39) și (40), în interiorul fiecărei perechi de vectori defazajul (64) fiind de 72 grade, în timp ce cele

35

doua grupuri vor fi defazate între ele cu o valoare  $\varphi_k$ , (65), astfel încât să existe cuplu util și să evităm încălzirea excesivă a motorului, valoarea acestui defazaj fiind dată de formula [10]:

$$\varphi_k = \frac{(2\pi - (2 \cdot 0.4\pi))}{2} = 0.6\pi = 108 \text{ grade} \quad [10]$$

---

## Revendicări

1. Convertizor pentafazat destinat acționării motoarelor electrice asincrone pentafazate, **caracterizat prin aceea că** este constituit din zece comutatoare electronice, (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), comandate de către un bloc de comanda (14) cu microprocesor care permite măsurarea a cinci curenți de fază (25), (26), (27), (28) și (29), a tensiunii continue de alimentare, (30), și a turației motorului, (32) și care generează pulsurile de comanda (15), (16), (17), (18), (19), folosind metoda modularii în lățime a pulsurilor precum și metoda reglării cu orientare după câmpul magnetic al motorului electric asincron pentafazat.

2. Metoda de tratare a cazului întreruperii unei faze, **caracterizată prin aceea că** implica parcurgerea cronologică a următorilor pași:

- se monitorizează cei cinci curenți de fază prin intermediul traductoarelor de curent (20), (21), (22), (23), (24);

- informațiile de curent, (25), (26), (27), (28), (29), sunt transmise către blocul de comanda (14), care le adaptează numeric, (36), (37), (38), (39), (40), pentru a putea fi folosite în procesul de comandă;

- blocul de comandă (14) supraveghează pentru a stabili dacă unul dintre curenții (36), (37), (38), (39) sau (40) este nul pentru o perioadă determinată de timp;

- în cazul în care unul dintre curenți este nul o perioadă determinată de timp, blocul de comanda (14) semnalează lipsa fazei corespunzătoare și reglează pulsurile de comandă a comutatoarelor, (15), (16), (17), (18), (19), pentru a obține curenții prin fazele sănătoase de la ieșirea convertizorului astfel încât să fie separate în două grupuri de câte doi curenți, fig. 6c, cu un defazaj în interiorul grupului de 72 grade și un defazaj între cele două grupuri de 108 grade, pentru a putea produce în continuare cuplu motor util;

- blocul de comandă (14) reglează lățimea pulsurilor, (15), (16), (17), (18), (19) astfel încât curentul pe fiecare fază sănătoasă a motorului să nu depășească valoarea nominală.

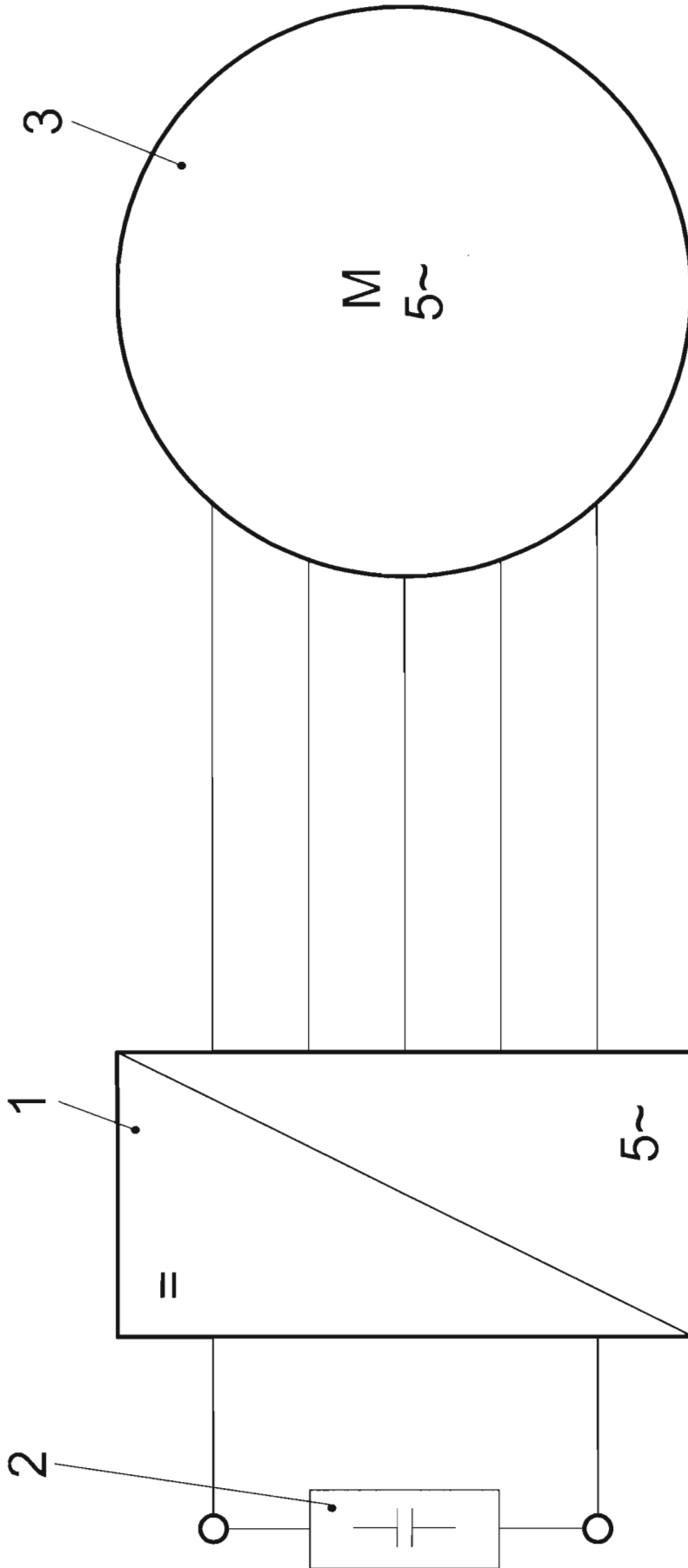


FIG 1



32

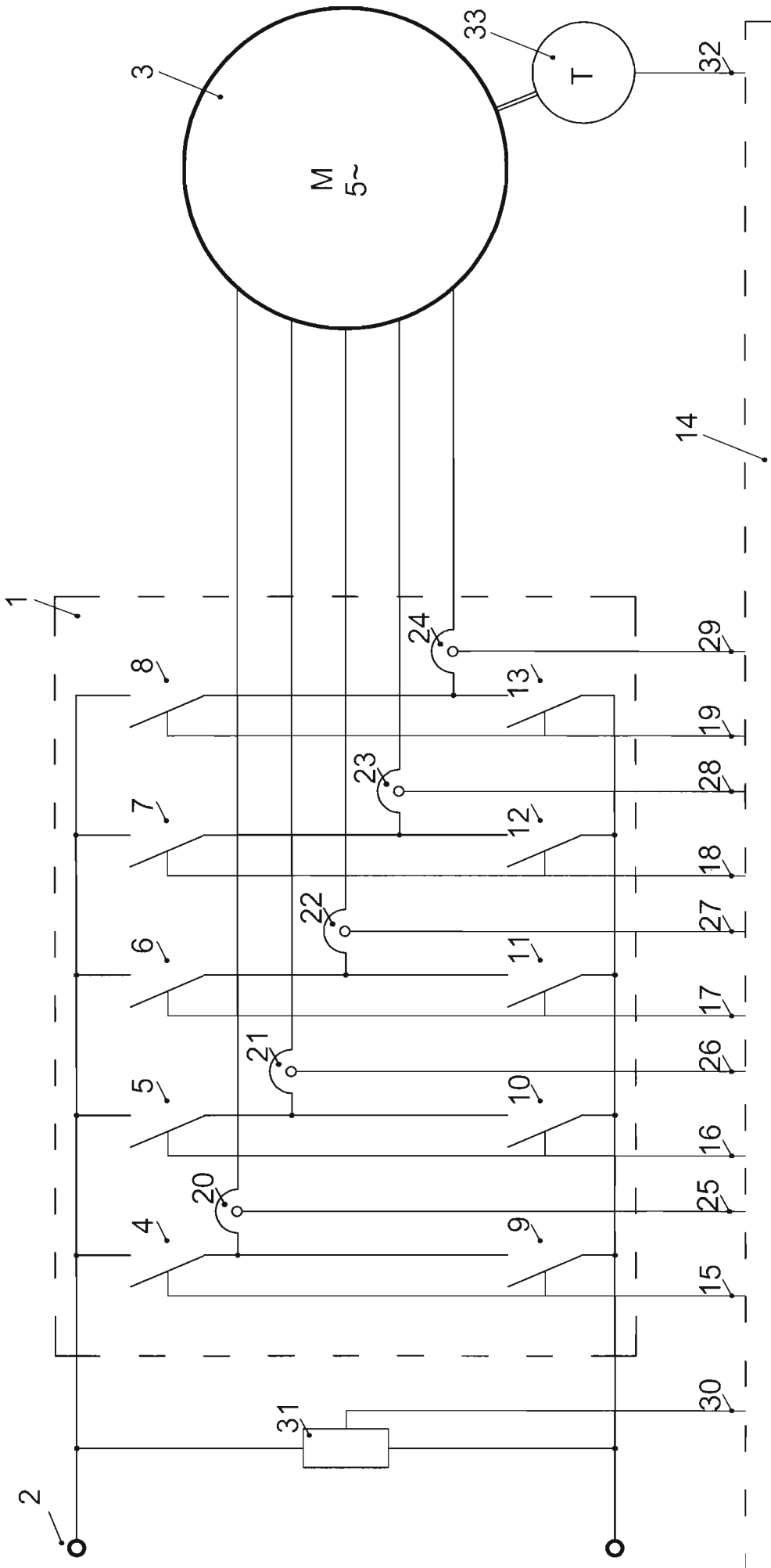


FIG 2

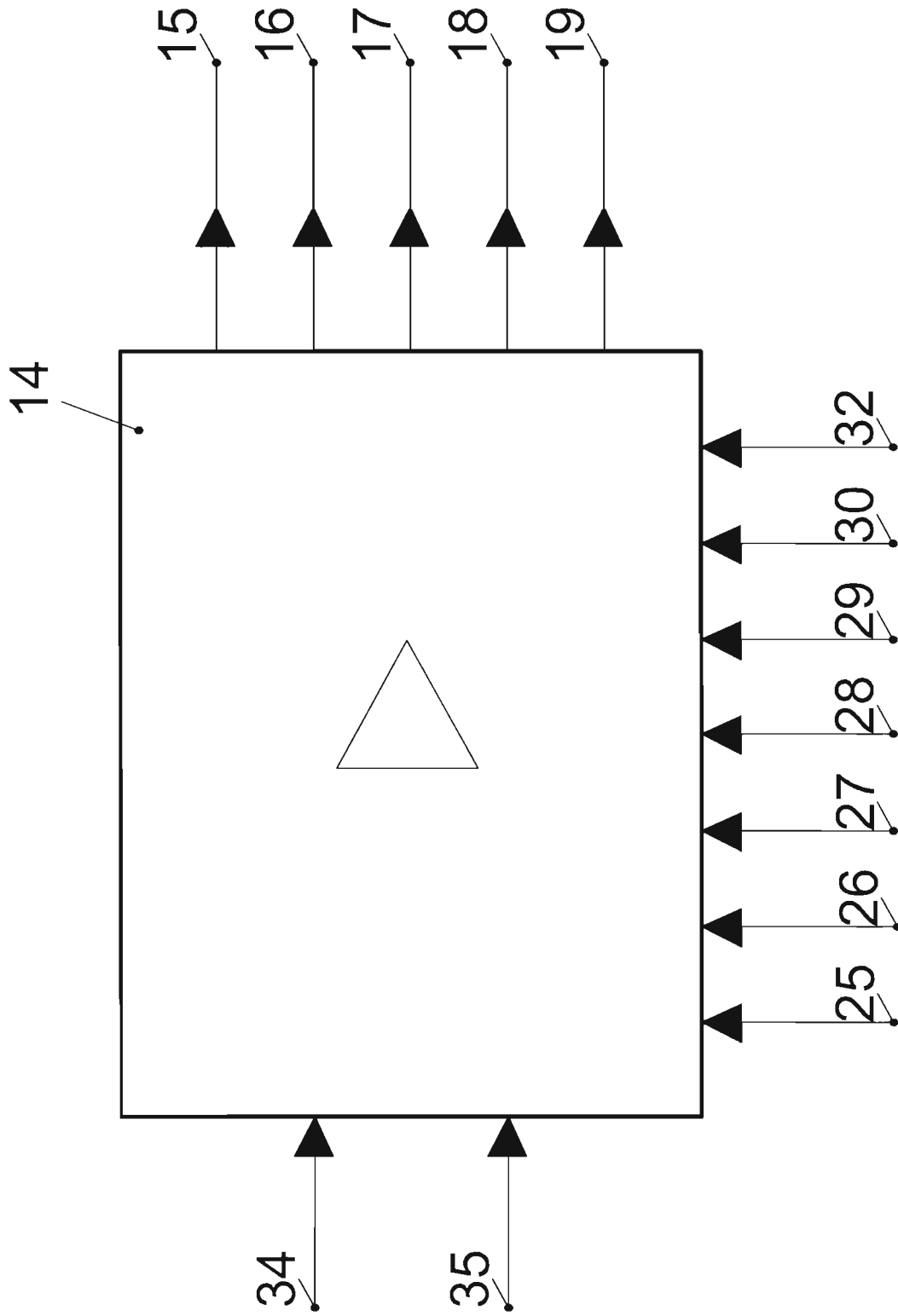


FIG 3

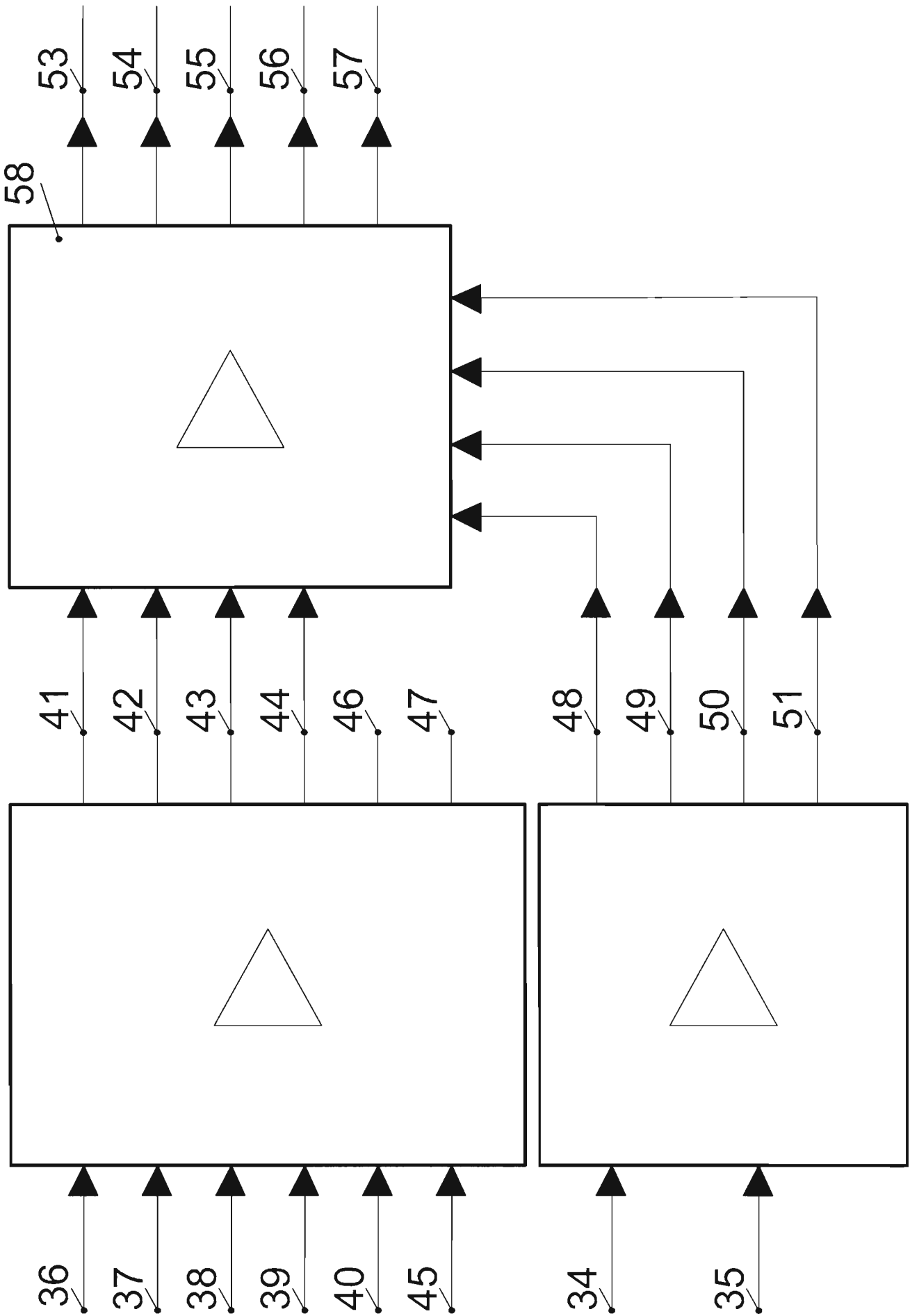


FIG 4

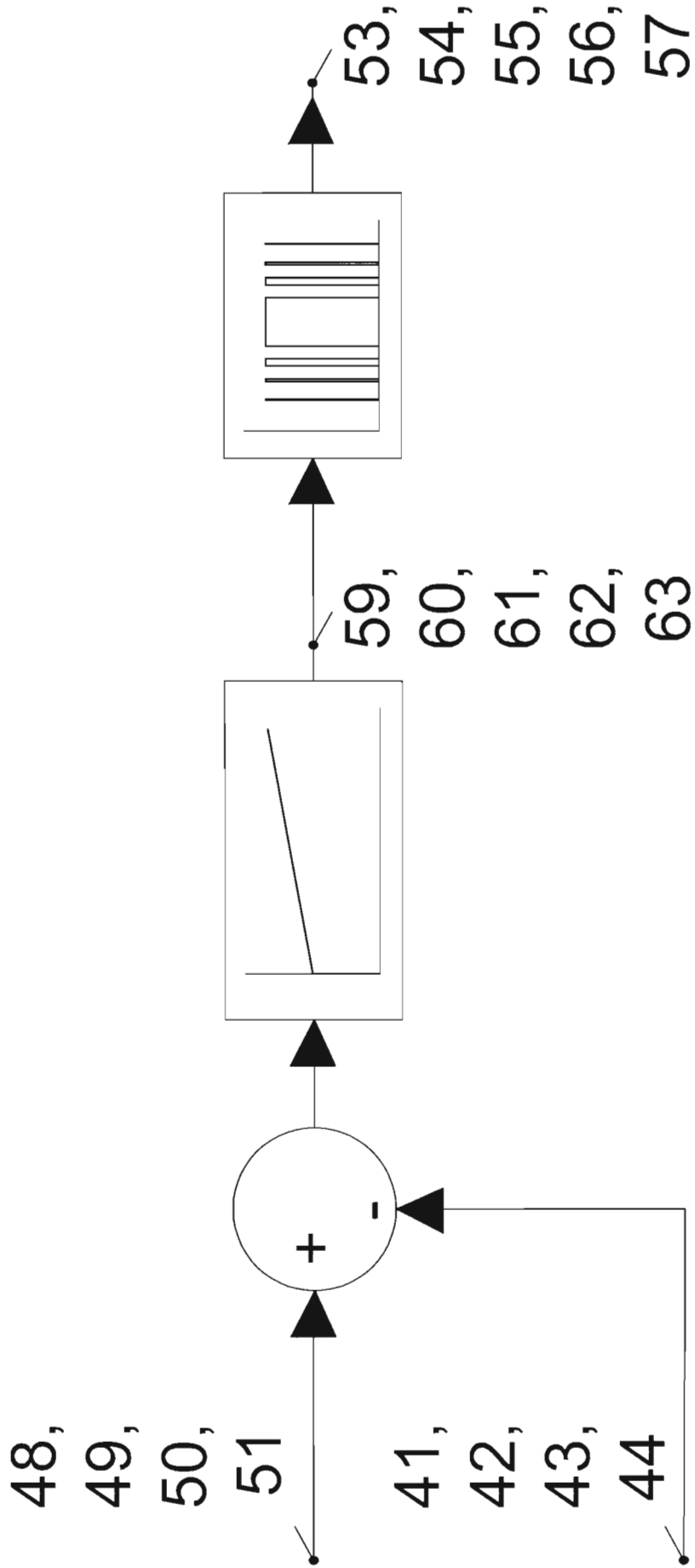
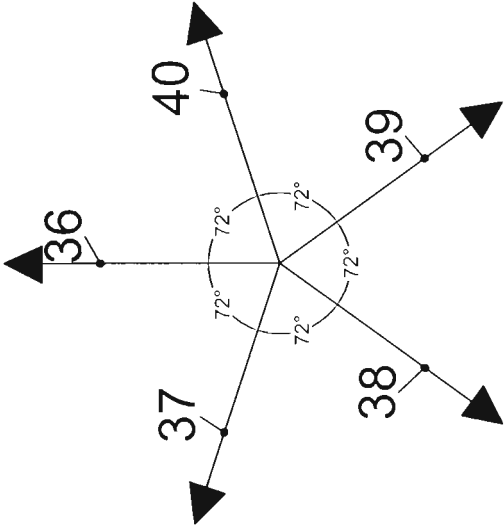
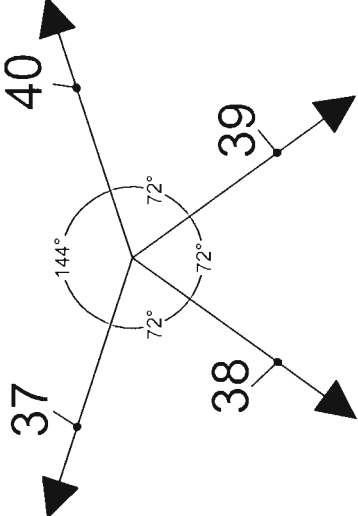


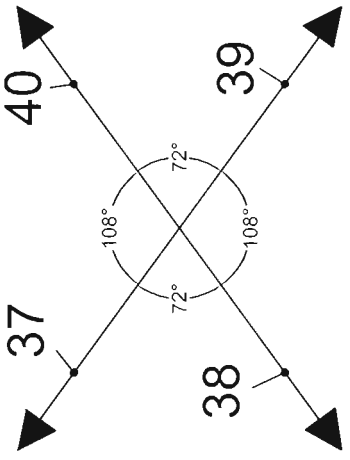
FIG 5



(a)



(b)



(c)

FIG 6