



SUOMI – FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU
PATENTSKRIFT

(10) FI 124421 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

29.08.2014

(51) Kv.lk. - Int.kl.

G01R 23/02 (2006.01)

(21) Patenttihakemus - Patentansökning

20135835

(22) Saapumispäivä - Ankomstdag

16.08.2013

(24) Tekemispäivä - Ingivningsdag

16.08.2013

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

29.08.2014

(73) Haltija - Innehavare

1 • ARCTEQ RELAYS OY, Wolffintie 36 F 11, 65200 VAASA, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 • VIRTALA, Tero, VAASA, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud

Kespat Oy, Vasarakatu 1, 40320 JYVÄSKYLÄ

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

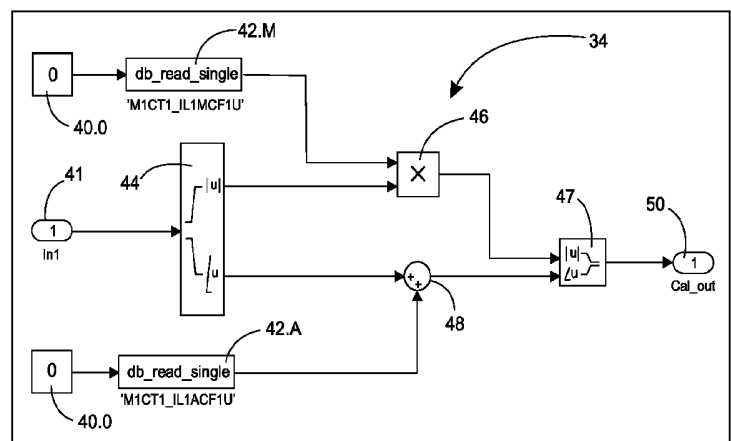
Menetelmä ja järjestelmä vaihtosähköjärjestelmän suureiden mittaamiseksi
Förfarande och system för mätning av storheter i ett växelströmssystem

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

CN 103063913 A, EP 2306208 A2, WO 2005046787 A1

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksinnön kohteena on menetelmä ja järjestelmä vaihtosähköjärjestelmän suureiden mittaamiseksi taajuusriippuvaisia virheitä tuottavien mittauskanavien kautta, jossa menetelmässä kunkin mittauskanavan (I11-3, I01, I02) analogiasignaali näytteistetään karkeasti mitatun taajuuden f_s kerrannaisella taajuudella f_s aikaansaaden jaksoa kuvaava perussarja kullakin mittauskanavalla (I11, I12, I13, I01, I02) ja kustakin perussarjasta lasketaan Fourier-analyysin avulla perustaaajuuden ja ainakin yhden harmonisen taajuuskomponentin magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvo, jotka kukin korjataan kalibroidun taajuusriippuvaisen funktion $k(f_n)$ avulla, jolloin valitut suureet (esim. TRMS) lasketaan kalibroiduista arvoista.



Jppfinningen avser ett förfarande och system för mätning av storheter i ett växelströmssystem via mätkanaler som producerar frekvensberoende fel, enligt vilket förfarande varje mätkanals (II1-3, IO1, IO2) analogsignal samplas med multipelfrekvensen f_s till en grovt uppmätt frekvens f_i , vilket åstadkommer en grundserie som visar en cykel för varje mätkanal (II1, II2, II3, IO1, IO2), och det för varje erhållen grundserie beräknas med hjälp av Fourieranalys grundfrekvensen och minst en harmonisk frekvenskomponents magnitud- och/eller fasvinkelvärde, vilka var och en korrigeras med hjälp av en kalibrerad frekvensberoende funktion $k(f_n)$, varvid valda storheter (t.ex. TRMS) beräknas utifrån kalibrerade värden.

MENETELMÄ JA JÄRJESTELMÄ VAIHTOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUREIDEN MITTAAMISEKSI

Keksinnön kohteena on menetelmä vaihtosähköjärjestelmän suureiden mittaamiseksi taajuusriippuvaisia virheitä tuottavien mittaussuureiden kautta, jossa menetelmässä

a) kunkin mittaussuureiden muodostaman kanavan kautta tuotetaan analogiasignaali kuvaten valittua virta/ jännitesuuretta, ja

b) kukin analogiasignaali näytteistetään valitulla karkeasti mitatulla taajuudella f_i aikaansaaden jaksoa kuvaava perussarja, josta valitut suureet määritetään.

Yleensä kyse on 3-vaihejärjestelmästä, mutta keksintöä voidaan soveltaa myös yksivaiheisissa sähköjärjestelmissä.

Sähköverkkojen taajuusmittaus on tärkeä osa sähköverkon valvontaa ja säätöä. Useat erilaiset taajuussuojaukset ja valvonta-automatiikat perustuvat taajuusmittauksen käyttöön. Taajuusmittauksen perusteella voidaan suojata erilaisia sähköverkon komponentteja ylikuormittumiselta ja haitallisilta taajuuksilta. Lisäksi taajuusmittausta voidaan käyttää perusteena generaattorien säätöön. Taajuusmittausta käytetään myös teho- ja energialaskentaan, johon sähkön myynti ja osto perustuvat.

Tekniikan tasosta tunnetaan erilaisia taajuusmittareita, jotka muuntavat sähköverkon virta- ja jännitesignaalit vaihekulmaksi ja magnitudiksi käyttäen niin sanottua Fourier- ja erityisesti FFT-laskentaa (Fast Fourier Transform). Analoginen signaali näytteistetään tietyllä vakiotaajuudella läpi mittausalueen. Tällaisen tekniikan ongelmana on se, ettei se ota huomioon taajuuserojen aikaansaamaa mittaussuurevirhettä. Jos näytteistystaajuus on kiinteästi esimerkiksi 50 Hz ja sähköverkon mitattu jännite on 60 Hz:ä, on mittaussuurevirheen suuruus jo noin 5 % virran eri vaiheissa.

Tekniikan tasosta tunnetaan patenttijulkaisu US 8,108,165 B2, jossa on esitetty eräs taajuusmittari, jossa käytetään taajuusriippuvaista analogisten signaalien näytteistystä. Taajuusriippuvainen näytteistys on käytössä koko mittausalueella 6 - 75 Hz (yleisemmin 5 - 100 Hz). Jos mitattu taajuus on mittausalueen ulkopuolella, mittauksessa käytetään alinta tai ylintä näytteistystä taajuutta ja korjauskerrointa, jolla virhettä pyritään kompensoidaan. Taajuusriippuvaisesta näytteistyksestä huolimatta tällaisessa taajuusmittarissa esiintyy huomattavia mittausvirheitä, sillä mittaus ei ota huomioon mittakortin komponenttien aiheuttamaa virhettä.

Keksinnön tarkoituksena on aikaansaada tekniikan tason menetelmiä tarkempi ja luotettavampi menetelmä taajuuden mittaamiseksi sähköverkossa. Tämän keksinnön mukaisen menetelmän tunnusomaiset piirteet ilmenevät oheisesta patenttivaatimuksista 1 ja menetelmää soveltavan järjestelmän piirteet on esitetty patenttivaatimuksessa 8. Kun keksinnön mukaan kunkin mittausliitännän analogiaosan epälineaarisuus kalibroidaan eri taajuuksilla ja muodostetaan taajuusriippuva korjausfunktio, keksinnön mukainen menetelmä antaa huomattavan tarkan tuloksen laajalla taajuusalueella. Edullisimmin taajuusriippuva korjaus tehdään useiden taajuuskomponenttien magnitudi ja vaihekulma-arvoihin. Korjausfunktio on edullisesti matriisi, jossa tiettyä sisääntuloa vastaavat alkiot ovat korjausarvoja diskreeteille taajuuksille. Näitä voidaan joko käyttää porrastetusti, mutta edullisinta on interpoloida väliarvot. Ääriarvoja voidaan käyttää nimellisen taajuusalueen ulkopuolella.

Edullisimmin magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvoja lasketaan 7 - 64, edullisesti 15 - 31 harmoniselle taajuuskomponentille.

Keksintöä kuvataan seuraavassa yksityiskohtaisesti viittaamalla oheisiin eräitä keksinnön sovelluksia kuvaaviin piirroksiin, joissa

- Kuva 1 esittää suojauslaitteen kytkentää 3-vaiheisen syöttölinjan valvonnassa
- Kuva 2 esittää viiden virtamittauskanavan analogisia mittausliitännätöjä erityisellä analogiakortilla
- 5 Kuva 3 esittää A/D-muuntimelta saatujen arvojen muuntaamista virta-arvoiksi
- Kuva 4 esittää kunkin sekvenssin käsittelyn yleiskuvausta
- Kuva 5 esittää kullekin taajuuskomponentille tehtävää korjausta
- 10 Kuvat 6, 7 ja 8 esittävät viiden virranmittauskanavan korjaustaulukoiden ohjelmallista päivitysjärjestelmää
- Kuva 9a esittää tunnetun taajuusmittauksen virhettä taajuuden funktiona
- Kuva 9b esittää keksinnön mukaisen taajuusmittauksen virhettä
- 15 3-vaihevirroilla

Kuvan 1 suojalaite 20 valvoo päälinjalle 16 kytkettyä haaralinjaa, joka on liitetty kaapelipäätteeseen 14. Päälinjan 10 vaiheista L1, L2, L3 otetaan syöttö haaralinjaan, jota kuvaa 20 kaapelipääte 14. Haaralinja on suojattu 3-vaihekatkaisijalla 12 ja maadoituserottimin 13. Katkaisijaa 12 ohjataan älykkäällä suojalaitteella 20. Tämä pystyy mittaamaan jännitesisääntuloja U1 - U4, virtasisääntuloja IL1-IL3, I01 ja I02. 3-vaihekatkaisijan 12 toimilaite ja maadoituserottimen 13 tilatunnistin on 25 kytketty I/O-osan 22 lähtöihin D01 - D04. Maadoituserotin 13 on käsikäyttöinen, mutta siitä viedään tilatieto I/O-osan 22 kautta suojalaitteelle 20, joka estää katkaisimen 12 sulkemisen, jos maadoitus on päällä.

30 Jännitetunnistus käyttää yhteistä tähtikytkettyä ensiökäämisarjaa 29. Jännitesisääntulot U1 - U3 (vaihejännitteet) käyttävät tähtikytkettyä toisiokäämisarjaa 28 ja nollejännite jännitesisääntuloon U4 muodostetaan jännitemuuntajien avokolmiokytkenällä 27. Jännitteet viedään suojalaitteen jännitemittaus- 35 muuntajille 26.

Syöttölinjan vaiheiden virtatunnistus, IL1, IL2, IL3 käyttää induktiivisesti kytkettyjä käämejä 15 kussakin vaihejohdossa. Lisäksi kaapelipääntteen maajohdon virta I01 tunnistetaan käämilä 15.1. Virtasisääntulo I02 ei ole tässä käytössä. Virtamittaukset viedään virtamittausmuuntajille 24.

Ensiluokkaisen toiminnan edellytyksenä on vaihesuureiden tarkka mittaaminen, mikä taajuuden vaihdellessa on haasteellista, koska tavanomainen mittauselektronikka toimii hyvin vain nimellistaajuudella, esim. 50 Hz.

Virta- ja jännitemittausten sisääntulo muodostuu analogiakomponenteista, joilla saattaa olla huomattava hajonta sähköisissä ominaisuuksissa, varsinkin kauempana nimellistaajuudesta.

15

Kuvassa 2 on esitetty virtamittausten sisäänottojen kytkentä A/D-muuntimelle asti. Neljä jännitemittausketjua ovat eri kortilla vastaavalla tavalla (ei esitetty). Kaikki analogiakomponentit on asennettu erityiselle vaihtokelpoiselle piirikortille 21, jossa on myös haihtumaton muisti 21.1 sekä sen liitännävälineet 21.2. Tämän muistin merkitys selviää jäljempänä. Analogiset komponentit A/D-muunnin mukaan lukien kussakin mittauspiirissä muodostavat pääasiallisen epälineaarisuuden. Ketjussa vasemmalta oikealle on virtamuuntaja 22, shunttivastus 25 "Sh_x" 24.1, jännitejakovastukset 24.2, analogiasuodin 24.3, vahvistin 24.4 ja lopuksi itse A/D-muunnin 24.5. Sama pätee yhtä lailla jännitemittauspiireihin (ei esitetty).

Kukin analogiasignaali näytteistetään A/D-muuntimella karkeasti mitatun taajuuden f_i (6 - 75 Hz, toleranssi n. 100 mHz) kerrannaisella aikaansaaden jaksoa kuvaava perussarja siten, että jakson näytteet muodostavat oleellisesti yhden koko sähköjakson (esim. 50 Hz sähköjakson perusaalto on 20 ms) perusaallon mittaisen FFT -puskurin per mittauskanava. A/D-muuntimia ohjataan isäntäprosessorilta tuodulla näytteistys-signaalilla S,

jonka taajuus f_s säädetään karkeasti mitatun perustaajuuden mukaan, edullisesti kaavalla:

$$f_s = f_i \times \text{FFT puskurin näytemäärä.}$$

5 Kuvat 3 - 8 esittävät laskennan ohjelmallisia toteutuksia kaaviollisesti.

Kuvassa 3 on esitetty A/D-muuntimelta saatujen raaka-arvojen muunnos virta-arvoiksi. Tämä tapahtuu hakemalla lookup-
10 ta kanavakohtainen skaalauskerroin, joka viedään arvon kanssa kertojaan 24.8. Tämä ei ole oleellista keksinnön kannalta.

Kuvassa 4 kunkin kanavan perussarja eli FFT-puskuri viedään FFT-
-muunnokseen 31, joka laskee perustaajuuden lisäksi harmonisen
15 taajuuskomponentin magnitudin tehollisarvon RMS ja vaihekulman. FFT-laskennasta 31 saadaan ulos 64 vektoria, joista 32 on peilikuvia, jotka terminoidaan valitsimella 32. Kuvassa 4 seurataan pääasiassa yhden taajuuskomponentin käsittelyä.

20 Jatkokäsittelyyn valitut 32 vektoria skaalataan tehollisarvoiksi kertoimessa 33 (kompleksinen vektori $\times (\text{sqrt}(2) / \text{näytteiden lukumäärä})$). Tämän jälkeen (tässä tapauksessa virran) kunkin taajuuskomponentin vektori viedään kalibraatiokorjaukseen moduuliin 34, joka on tarkemmin esitetty kuvassa 5. Sen tulokse-
25 na saadaan kunkin taajuuskomponentin kalibroitu vektori (lähtö 1). Tästä muodostetaan karteessimuuntimella 38 erillinen magnitudiarvo (lähtö 2) ja vaihekulma (lähtö 4). Kaikkien taajuuskomponenttien magnitudiarvoista muodostetaan laskimessa 39 tarkka tositechollisarvo TRMS (lähtö 3). Se saadaan ottamalla neliöjuuri
30 magnitudiarvojen (32 kpl) neliöiden summasta.

Kalibroimattomasta sisääntulosignaalista muodostetaan laskennalla 38 karkea huippuarvo (lähtö 5), jota voidaan käyttää esim. myöhempien vaiheiden karkeaan säätöön.

Kuvassa 5 on esitetty sanotun kalibraatiokorjauksen moduulin 34 toiminta, joka on keskeinen tämän keksinnön kannalta. Sisääntulosta 41 saatava vektori jaetaan karteesisimuuntimella 44 erillisiin magnitudi- ja vaihekulma-arvoihin, joille tehdään erikseen 5 kalibraatiokorjaus esilaskettujen taajuusriippuvaisten korjauskertoimien avulla. Kuvan 5 tapauksessa käsittelyssä on perustajuuden korjaus koska korjauskerroin luetaan muistipaikasta 0 (vektorin ensimmäinen korjauskerroin) 40.0. Kanavakohtainen magnitudikorjauskerroin luetaan rekisteristä 42.M 10 'M1CT1_IL1MCF1U' (kanava IL1) ja viedään kertoimeen 46, jossa sillä kerrotaan mitattu arvo. Vastaavasti kanavakohtainen vaihekulmakorjauskerroin luetaan rekisteristä 42.A 'M1CT1_IL1ACF1U' (kanava IL1) ja viedään summaimeen 48, jossa se summataan tuotuun vaihekulmaan. Lopuksi saadut kalibroidut arvot 15 muunnetaan polaarimuunnoksella takaisin vektoriarvoiksi ja toimitetaan ulostuloon 50 "Cal_out".

Kuvan 5 mukaisia kalibraatiokorjauksia tehdään kullakin kanavalla (5 virta- ja 4 jännitemittauskanavaa) ja näissä jokaisessa 20 kullekin taajuuskomponentille (32 kpl). Diskreeteille taajuuksille sovitettut kalibrointikertoimet, jotka on saatu erityisessä kalibrointilaskennassa, on tallennettu piirikortin 21 muistiin 21.1. Sieltä ne haetaan isäntäprosessoriin käyttöön, joka laskee taajuutta vastaavat hetkelliset arvot sanottuihin rekistereihin 25 42.M ja 42.A (tässä M1CT1_IL1MCF1U ja M1CT1_IL1ACF1U). Kun kalibroidut korjauskertoimet tallennetaan piirikortin muistiin 21.1, se voidaan vaihtaa nopeasti ja uusi piirikortti tallennettuine korjausmatriiseineen antaa välittömästi tarkkoja tuloksia.

30 Kalibroimalla harmonisten taajuuskomponenttien magnitudi ja vaihekulma, TRMS, eri harmonisia komponentteja käyttävät yms. kerrannaistaajuuksista riippuvat mittaukset saadaan tarkkoiksi, jotka muutoin olisivat täysin käytettävissä olevan mittaustekniikan ominaisuuksien varassa varsinkin korkeammilla harmonis- 35 taajuuksilla. Tyypillisesti mittaustekniikka mitoitetaan tarkaksi vain kiinteälle perusaallon taajuudelle.

Kuvissa 6, 7 ja 8 on esitetty virtamittausten, IL1, IL2, IL3, I01 ja I02 korjauskertoimien ohjelmallinen päivitys kulloisenkin taajuuden mukaan. Vastaava laskenta tehdään jännitemittausosal-

5 la.

Kullakin virtasisäätölöllä on erikseen magnitudi- ja vaihekulmakorjaustaulukot. Hetkelliset kalibrointi-arvot kullakin kanavalla on tallennettu rekistereihin 52. Kellopulssin ohjaamana

10 lähdöt 51.M (magnitudit) ja 51.A (vaihekulmat) lukevat hetkelliset diskreetit korjausarvot Y1 - Y8 approksimaatiolaskentamoduuleille 54 ja 55 (magnitudi ja vaihekulmat erikseen, kaikilla kanavilla). Sama kellopulssi ohjaa diskreettien taajuusarvojen

15 luvun (6, 15, 25, 30, 40, 50, 60, ja 75 Hz), joilla kalibraatio on tehty, kaikille laskentamoduuleille 54, 55 yhteisesti eri laskentamoduulien tuloihin X1 - X8. Kalibroidut kertoimet Y1 - Y8 haetaan omalta, kanavakohtaiselta sarakkeeltaan taulusta 1. Tämä lasketaan kaikilla virtamittauskanavilla IL1 - IL3, IL01 ja IL02. Näistä hetkellisistä korjausarvoista lasketaan lineaar-

20 riaproksimaatiolla käyttäen seuraavaa proseduuria:

$X=[X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8]$; taajuusriippuvuuskerroin on 8-paikkainen vektori (diskreettitaajuudet 6 - 75 Hz)

25 $Y=[Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8]$; magnitudi tai vaihekulman korjauskerroin on 8-paikkainen vektori, jossa on diskreettitaajuuksia vastaavat kertoimet

Etsitään mitatun taajuuden "freq" välittömästi alempi diskreettitaajuus X(i) ja sitä vastaava kerroin Y(i)

freq =
 $\text{single}(Y(i) + ((\text{freq} - X(i)) * ((Y(i+1) - Y(i)) / (X(i+1) - X(i)))));$

Diskreettitaajuuksien ylä- ja alapuolella käytetään kertoimien

35 ääriarvoja Y1 ja Y8. Laskettu kerroin viedään vastaavan kanavan magnitudi/vaihekulma-rekisteriin, esim. kanavan IL1 magnitudin

korjauskerroin rekisteriin 'M1CT1-IL1MCF1_1' (56.M.IL1).

Analogiaetupään suunnittelu vaikuttaa tarvittavien kalibrointi-
taajuuksien määrään ja niiden valintaan huomattavasti. Jos
5 suunnittelu ei ole lineaarinen, kalibrointipisteiden määrää
kasvattamalla päästään haluttuun tarkkuuteen. Samoin lineaariap-
proksimaatio diskreettipisteiden välissä ei välttämättä olisi
tarpeen, jos diskreettipisteitä olisi riittävän suuri lukumäärä.

10 Seuraavassa on esimerkki korjaustaulusta, jossa on eri virtamit-
tauskanavien IL1, IL2, IL3, I01 ja I02 magnitudi- ja kulmakor-
jausarvot diskreettitaajuuksilla 6 - 75 Hz (8 kpl).

15	freq [Hz]	IL1cf	IL2Cf	IL3Cf	I01Cf	I02Cf
	6	1,00870	1,00855	1,00673	0,90746	0,86719
	15	1,00758	1,00756	1,00554	0,94732	0,90845
	25	1,00758	1,00776	1,00565	0,98543	0,97558
20	30	1,00763	1,00774	1,00569	0,98928	0,98439
	40	1,00842	1,00855	1,00617	0,98968	0,98666
	50	1,00832	1,00836	1,00634	0,99051	0,98772
	60	1,00815	1,00836	1,00573	0,99094	0,98884
	75	1,00773	1,00802	1,00579	0,99111	0,98925
30	freq [Hz]	IL2ang	IL3ang	I01ang	I02ang	
	6	-0,03	0,00	-4,63	-4,23	
	15	-0,02	0,00	-2,53	-2,70	
	25	-0,01	0,00	-0,88	-1,28	
	30	-116,94	-0,02	-0,42	-0,69	
	40	20,52	0,01	-0,28	-0,47	
	50	0,00	0,00	-0,18	-0,32	
	60	-0,01	0,00	-0,12	-0,25	
45	75	-0,01	0,00	-0,11	-0,19	

Taulu 1

Nämä arvot tallennetaan kortin muistiin 21, josta ne luetaan prosessorin käyttömuistiin laitteen käynnistykseen liittyvän alustuksen yhteydessä.

Taulu 1 esittää sovelluksen kalibroidusta taajuusriippuvaisesta funktiosta $k(f_n)$, jonka avulla kunkin mittausliitännän sanotun virheen eliminoimiseksi.

10

Kuvien 6 - 8 laskentamallilla tästä taulukosta poimitaan kulloisenkin taajuuden mukaiset hetkelliset arvot laskentarekistereihin, joilla mittausarvoja sitten kalibroidaan.

15 Kuvan 8 mukaisesti karkeasti mitattu taajuus herzeinä pyöristetään yksiköllä 59.1 (ceil-funktio) kokonaisluvuksi. Ehtomoduli 59.2 laukaisee uuden laskennan, jos mitattu taajuus on muuttunut vähintään 1 Hz:n edellisestä 5 ms laskentakierroksesta. Lohko 50 sisältää kuvien 6 ja 7 toiminnot. Kuvassa 8
20 esitetyt muistipaikkaluennat 57 kuvaavat ennalta määritettyjä kalibrointitaajuuspisteitä.

Yleisesti järjestelmän ydin on tietokoneohjelma, joka käsittää ohjelmakoodin esitetyn menetelmän toteuttamiseksi.

25

Kunkin vaiheen näennäisteho lasketaan sinänsä tunnetulla kaavalla.

$$\overline{S_{L1Fund}} = \overline{U_{LIFund}} \times \overline{conj(I_{L1Fund})}, \text{ missä}$$

$$\overline{U_{L1h(1)}} = \text{Re}_{U_{L1h(1)}} + j\text{Im}_{U_{L1h(1)}} \text{ ja}$$

$$\overline{I_{L1h(1)}} = \text{Re}_{I_{L1h(1)}} + \overline{\text{Im}_{I_{L1h(1)}}}$$

Siitä lasketaan pätö- ja loisteho kaavoilla:

30

$$\begin{aligned}\overline{S}_{3PH} &= (\overline{S}_{L1Fund} + \overline{S}_{L2Fund} + \overline{S}_{L3Fund}) \\ \overline{P}_{3PH} &= \text{real}(\overline{S}_{3PH}) \\ \overline{Q}_{3PH} &= \text{imag}(\overline{S}_{3PH})\end{aligned}$$

Tarkka laskenta edellyttää myös harmonisten taajuuskomponenttien huomioimista, jolloin kunkin vaiheen näennäisteho lasketaan taajuuskomponenttitehojen summana seuraavasti.

$$\begin{aligned}\overline{S}_{L1} &= (\overline{U}_{L1Fund} \times \overline{\text{conj}}(\overline{I}_{L1Fund})) + (\overline{U}_{L1h(1)} \times \overline{\text{conj}}(\overline{I}_{L1h1})) + \dots \\ &+ (\overline{U}_{L1hn} \times \overline{\text{conj}}(\overline{I}_{L1hn}))\end{aligned}$$

5 Sen jälkeen voidaan soveltaa edellä mainittua pätö- ja loistehon kaavoja.

Kuvien 9a ja 9b mukaisesti keksinnön mukainen laskentajärjestelmä antaa merkittävän taajuusvakauden. Kuvan 9a mukaisesti
10 tavanomainen vaihesuureiden mittaustekniikka on tarkka vain nimellistaajuudella, tässä 50 Hz. Virhe alueella 6 - 75 Hz on jopa kymmeniä prosentteja. Yleisesti virhe on sitä suurempi mitä kauempana ollaan nimellistaajuudesta ja mitä suurempi kerrannaistaajuus on tarkastelun alla.

15

Keksinnön mukaisen mittauskortin virheet esim. eri vaihevirroille ovat kuvan 9b mukaisesti alle 0,25 % koko taajuusalueella (6 - 75 Hz).

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä vaihtosähköjärjestelmän suureiden mittaamiseksi taajuusriippuvaisia virheitä tuottavien mittauskanavien kautta, jossa menetelmässä

- a) kunkin mittauskanavan (IL1-3, I01, I02) kautta tuotetaan analogiasignaali kuvaten valittua virta/jännitesuuretta, ja
- 10 b) kukin analogiasignaali näytteistetään karkeasti mitatun taajuuden f_i kerrannaisella taajuudella f_s aikaansaaden jaksoa kuvaava perussarja kullakin mittauskanavalla (IL1, IL2, IL3, I01, I02),
- 15 c) kustakin saadusta perussarjasta lasketaan Fourier -analyysin avulla perustaajuuden ja ainakin yhden harmonisen taajuuskomponentin magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvo,
- 20 d) kukin laskettu magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvo korjataan kalibroidun taajuusriippuvaisen funktion $k(f_n)$ avulla kunkin mittausliitännän sanotun virheen eliminointiseksi,
- 25 f) lasketaan valitut suureet, kuten esimerkiksi tulosignaalin TRMS kalibroiduista magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvoista.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kukin korjausfunktio käsittää diskreettejä korjausarvoja valituilla kalibrointitaajuuksilla sisältävän taulukon.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että laskentaan tuotetaan korjausfunktioista hetkelliset taajuusriippuvaiset korjausarvot mitatun taajuuden muuttuessa valittua kriteeriä enemmän.

4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvoja lasketaan 7 - 64, edullisesti 15 - 31 harmoniselle taajuuskomponentille.
- 5
5. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että sanottu mittausalue on 5 - 100 Hz, edullisesti 6 - 75 Hz.
- 10 6. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että Fourier analyysi on FFT-tekniikkaa.
7. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kukin kanava kalibroidaan myös magnitudi-
15 riippuvaisesti.
8. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että näytteenottotaajuus asetetaan jatkuvasti suhteessa mitattuun taajuuteen f_i kaavalla
20 $f_s = f_i \times \text{FFT puskurin näytemäärä}$.
9. Järjestelmä vaihtosähköjärjestelmän suureiden mittaamiseksi, johon järjestelmään kuuluu
- a) analogiaosa (22, 24.1-4) käsittäen useita mittauskanavia
25 (IL1-3, I01, I02) analogiasignaalin tuottamiseksi kuvan valittua virta/jännitesuuretta, ja
- b) välineet (24.5) kunkin analogiasignaalin näytteistämiseksi karkeasti mitatun taajuuden f_i kerrannaisella taajuudella f_s aikaansaaden jaksoa kuvaava perussarja kullakin mittauskanavalla (IL1, IL2, IL3, I01, I02), ja
- 30 c) Fourier-analyysivälineet perustaajuuden ja ainakin yhden harmonisen taajuuskomponentin magnitudi- ja/tai
35 vaihekulma-arvo laskemiseksi kustakin saadusta perussarjasta, ja

d) välineet (34) kunkin lasketun magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvon korjaamiseksi kalibroidun taajuusriippuvaisen funktion $k(f_n)$ avulla kunkin mittausliitännän sanotun virheen eliminoimiseksi, ja

5

f) välineet valittujen suureiden, kuten esimerkiksi tulosignaalin TRMS laskemiseksi kalibroiduista magnitudi- ja/tai vaihekulma-arvoista.

10 10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu ainakin yksi mittauskortti (21) käsittäen yhden mittausliitännän analogiaosan ja A/D-muuntimen (24.5).

15 11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että sanottu mittauskortti (21) sisältää useiden kanavien analogiaosat ja haihtumattoman muistin (21.1) sovitettuna tallentamaan mittauskortin kalibraatiokertoimet.

20 12. Tietokoneohjelma, joka käsittää ohjelmakoodin minkä tahansa menetelmävaatimuksen 1 - 8 toteuttamiseksi.

Patentkrav

1. Förfarande för mätning av storheter i ett växelströmsystem via mätkanaler som producerar frekvensberoende fel, enligt 5 vilket förfarande

- a) det genom varje mätkanal (IL1-3, I01, I02) produceras en analogsignal vilken visar vald ström/spänningsstorhet, och
- 10 b) varje analogsignal samplas med multipelfrekvensen f_s till en grovt uppmätt frekvens f_i , vilket åstadkommer en grundserie som visar en cykel för varje mätkanal (IL1, IL2, IL3, I01, I02),
- 15 c) av varje erhållen grundserie beräknas med hjälp av Fourieranalys grundfrekvensen och minst en harmonisk frekvenskomponents magnitud- och/eller fasvinkelvärde,
- d) varje beräknat magnitud- och/eller fasvinkelvärde 20 korrigeras med hjälp av en kalibrerad frekvensberoende funktion $k(f_n)$ för eliminering av varje mätanslutnings nämnda fel,
- f) valda storheter beräknas, såsom t.ex. insignalens TRMS 25 utifrån kalibrerade magnitud- och/eller fasvinkelvärden.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att varje korrigeringsfunktion inbegriper en tabell innefattande diskreta korrigeringsvärden för valda kalibreringsfrekvenser. 30

3. Förfarande enligt patentkrav 2, kännetecknat av att till beräkningen förs från korrigeringsfunktionen momentana frekvensberoende korrigeringsvärden när den uppmätta frekvensen förändras mer än det valda kriteriet. 35

4. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 3, kännetecknat av att magnitud- och/eller fasvinkelvärden beräknas för 7 - 64, förmånligt 15 - 31 harmoniska frekvenskomponenter.
- 5 5. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 4, kännetecknat av att det nämnda mätområdet är 5 - 100 Hz, förmånligt 6 - 75 Hz.
6. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 5, 10 kännetecknat av att Fourieranalysen är FFT-teknik.
7. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 6, kännetecknat av att varje kanal även kalibreras magnitudberoende.
- 15
8. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 7, kännetecknat av att samplingsfrekvensen sätts kontinuerligt i förhållande till den uppmätta frekvensen med formeln f_s
- $$f_s = f_i \times \text{FFT bufferns samplingsmängd.}$$
- 20
9. System för mätning av ett växelströmsystems storheter, vilket system innefattar
- a) en analogdel (22, 24.1-4) inbegripande flera mätkanaler (IL1-3, I01, I02) för produktion en analogsignal vilken 25 visar vald ström/spänningsstorhet, och
- b) anordningar (24.5) för sampling av varje analogsignal med multipelfrekvensen f_s till en grovt uppmätt frekvens f_i , vilket åstadkommer en basserie som visar en cykel för 30 varje mätkanal (IL1, IL2, IL3, I01, I02), och
- c) Fourieranalysanordningar för beräkning av grundfrekvensen och minst en harmonisk frekvenskomponents magnitud- och/eller fasvinkelvärde för varje erhållen grundserie, 35 och

d) anordningar (34) för korrigerings av varje beräknat magnitud- och/eller fasvinkelvärde med hjälp av en kalibrerad frekvensberoende funktion $k(f_n)$ för eliminering av varje mätanslutnings nämnda fel, och

5

f) anordningar för beräkning av valda storheter, såsom t.ex. insignalens TRMS utifrån kalibrerade magnitud- och/eller fasvinkelvärden.

10 10. System enligt patentkrav 9, kännetecknat av att systemet innefattar minst ett mätningkort (21) inbegripande en mätanslutnings analogdel och en A/D-omvandlare (24.5).

11. System enligt patentkrav 10, kännetecknat av att det nämnda
15 mätningkortet (21) innehåller flera kanalers analogdelar och ett icke-flyktigt minne (21.1) anordnat att lagra mätningkortets kalibreringskoefficienter.

12. Datorprogram, vilket inbegriper programkod för utförande av
20 vilket som helst av förfarandekraven 1 - 8.

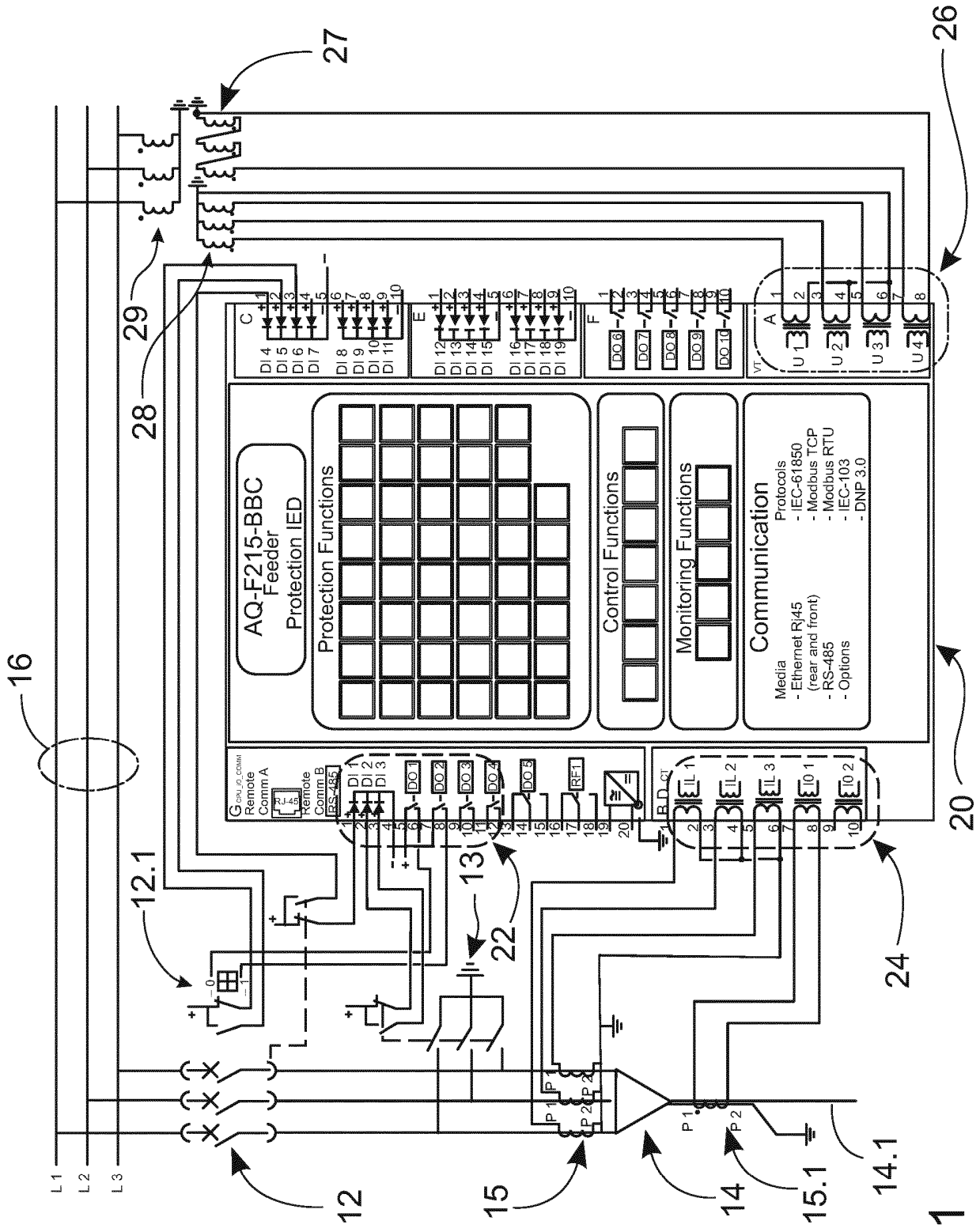


Fig. 1

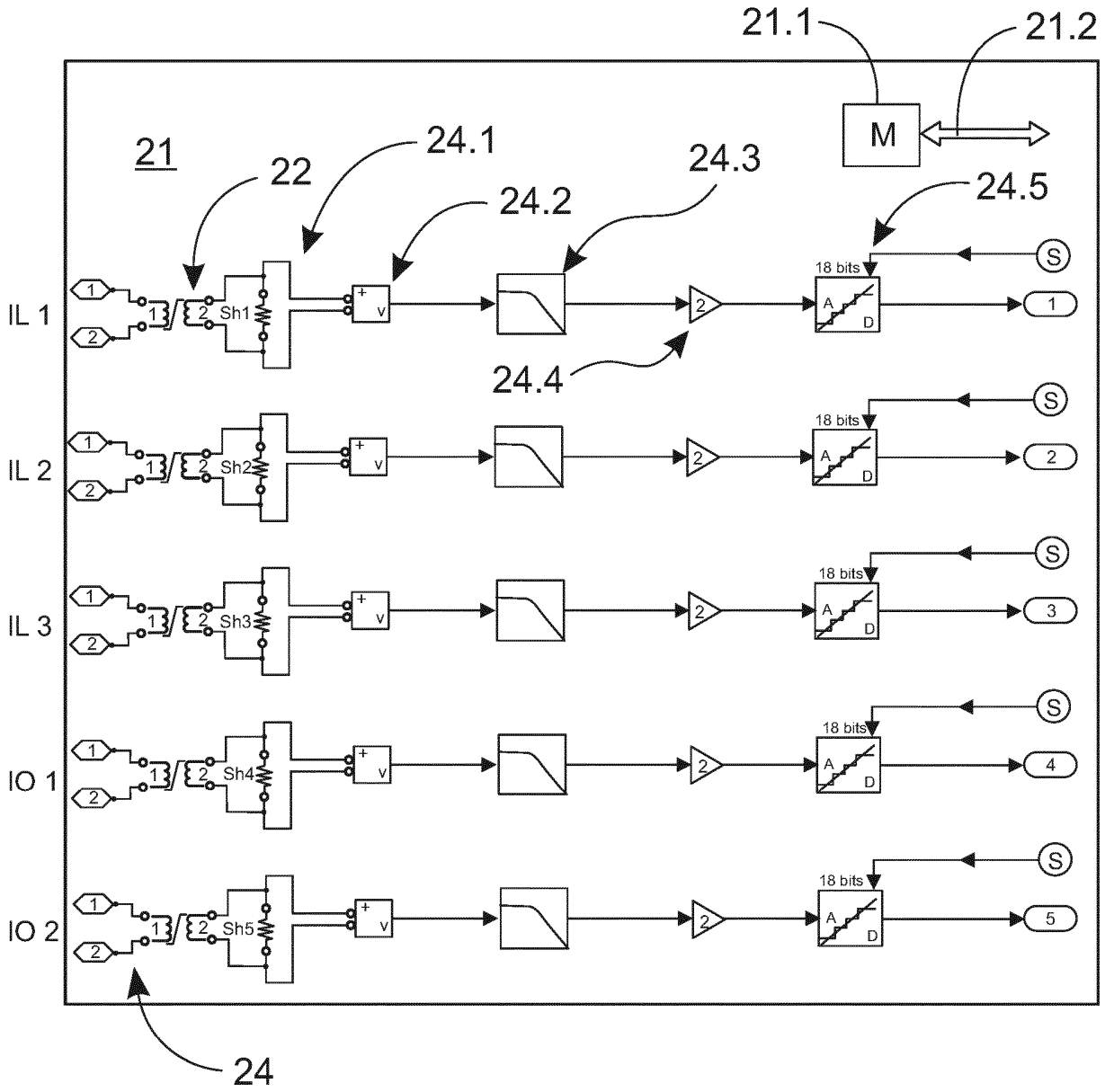


Fig. 2

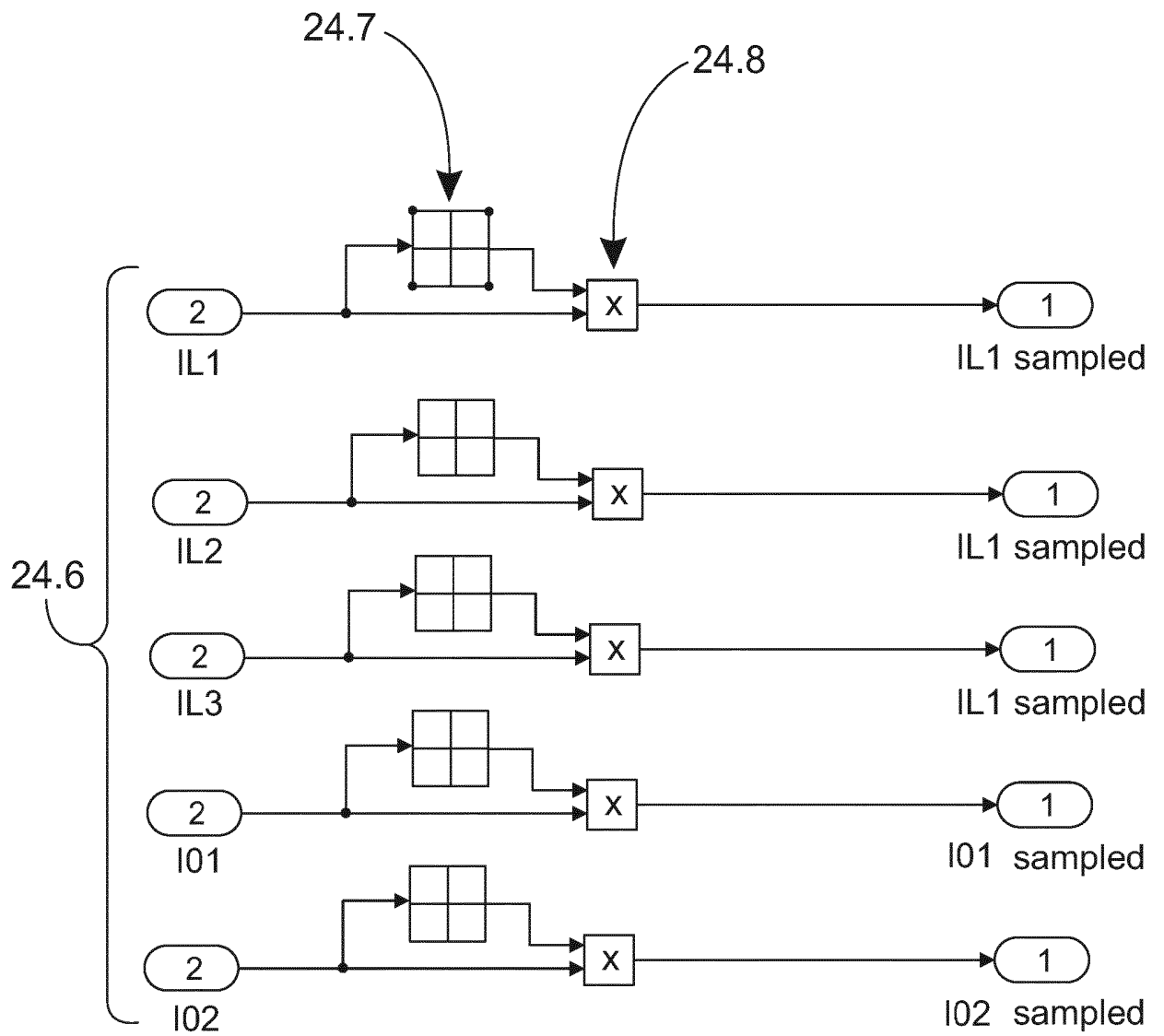


Fig. 3

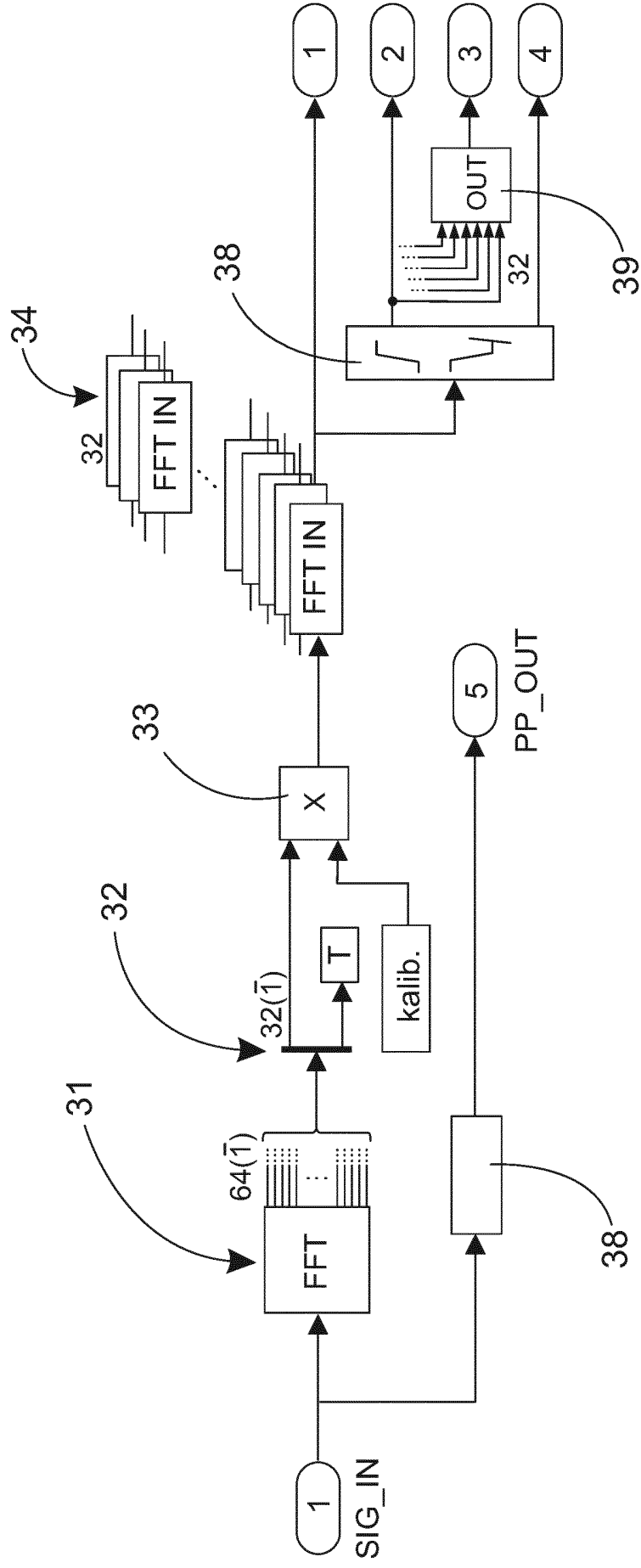


Fig. 4

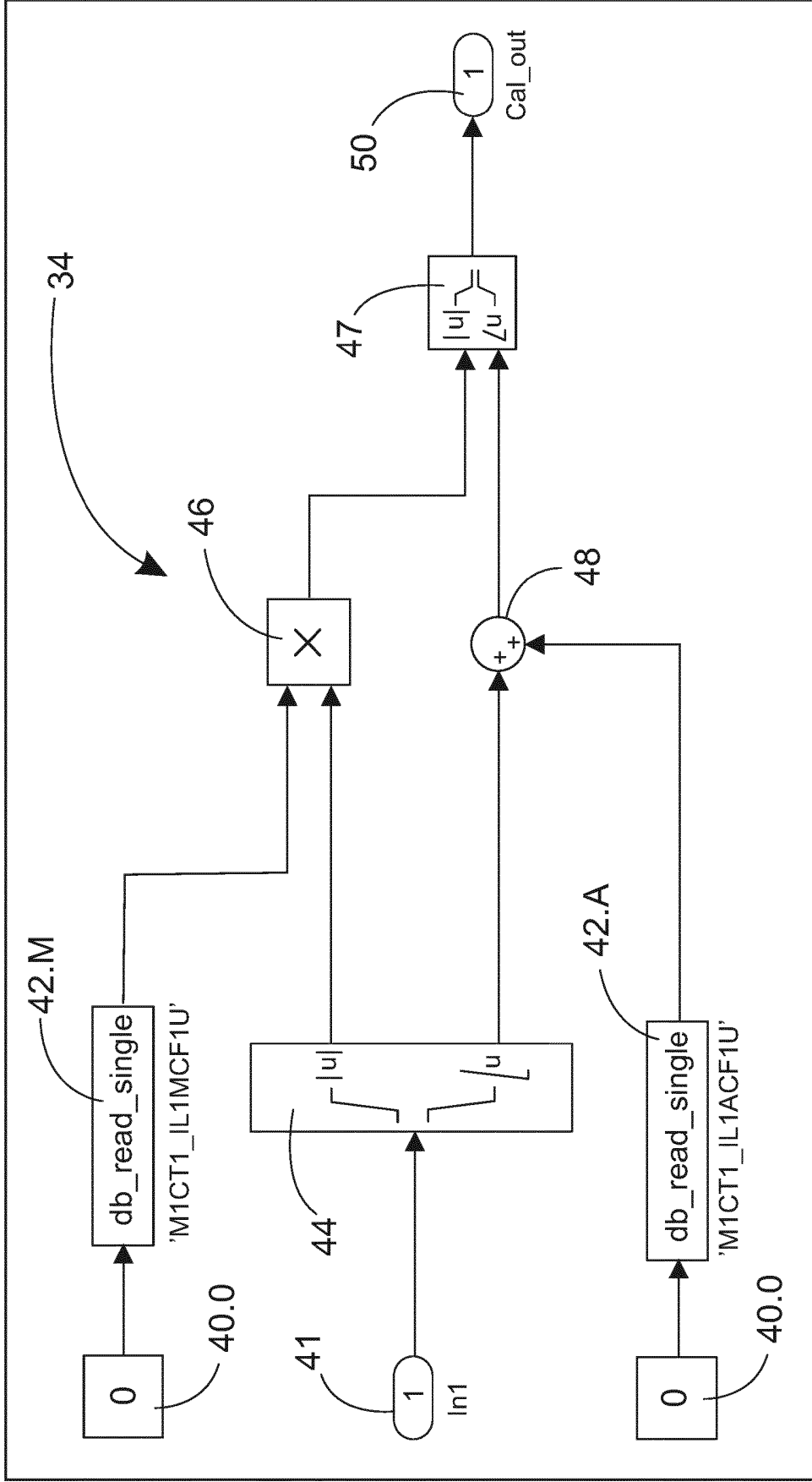


Fig. 5

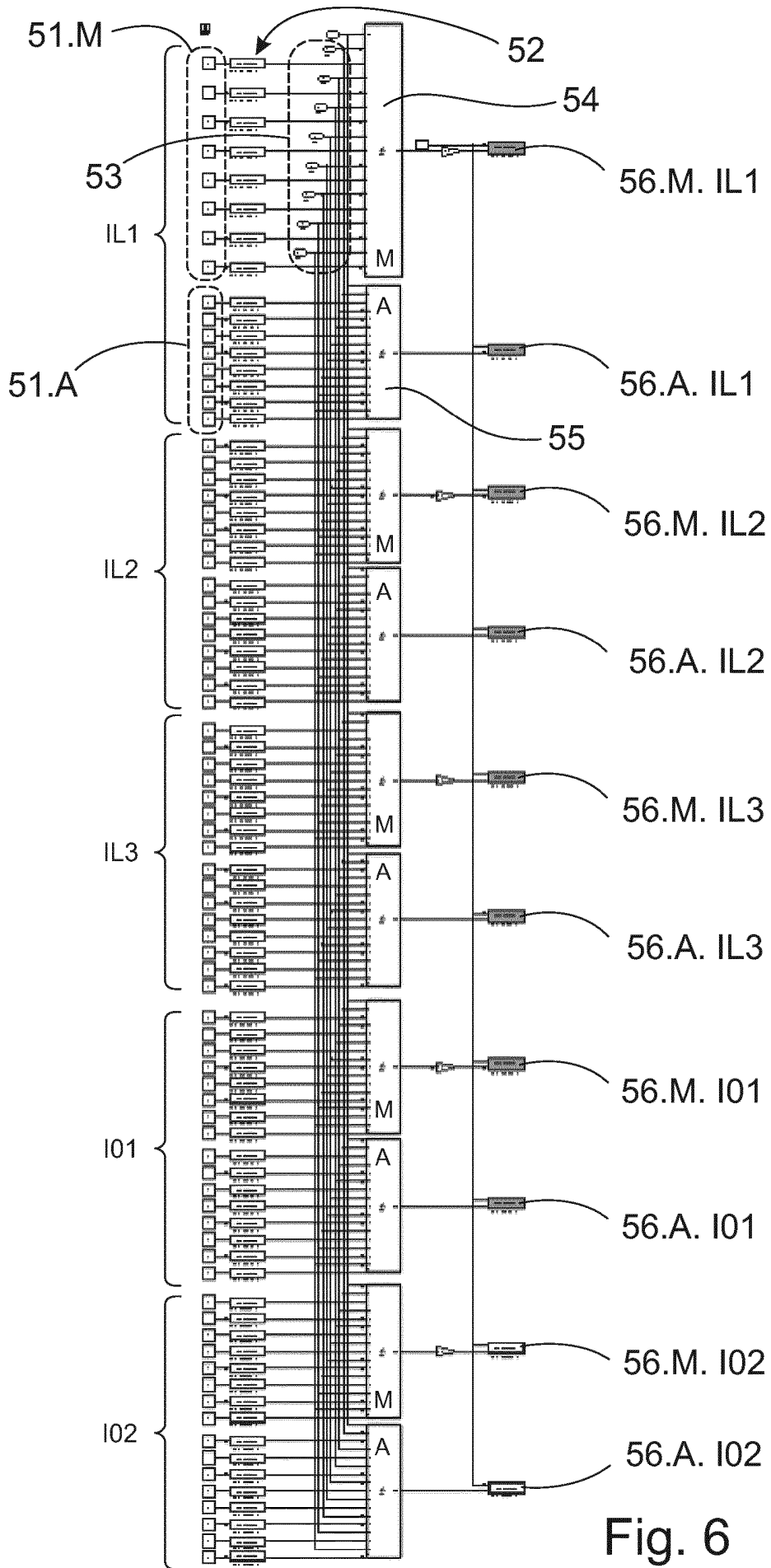


Fig. 6

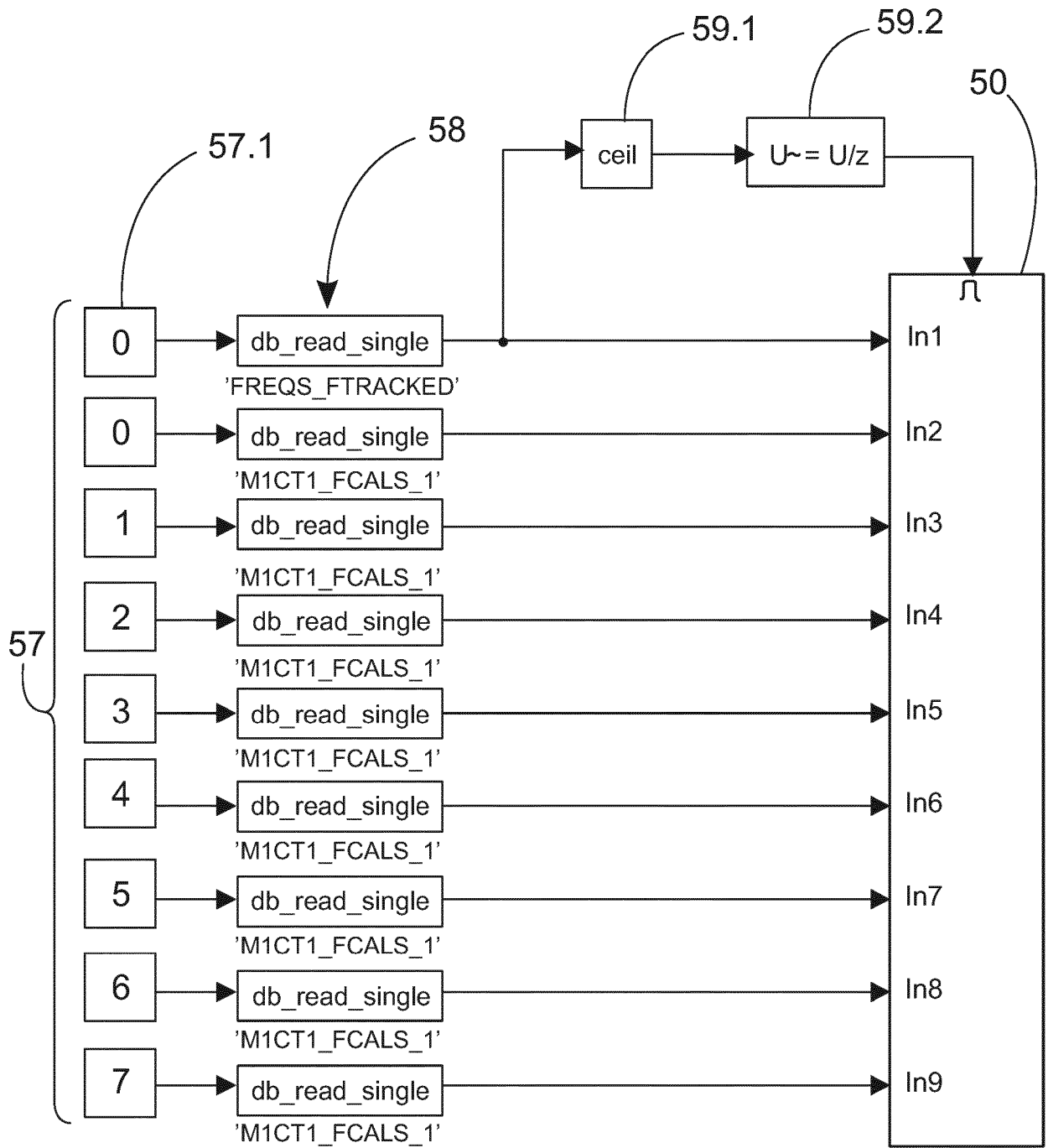


Fig. 8

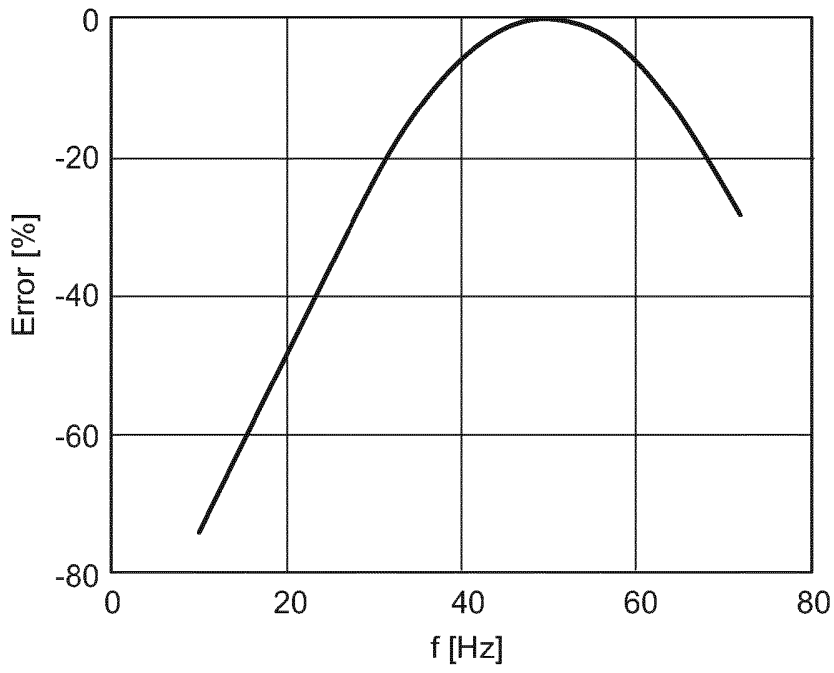


Fig. 9a

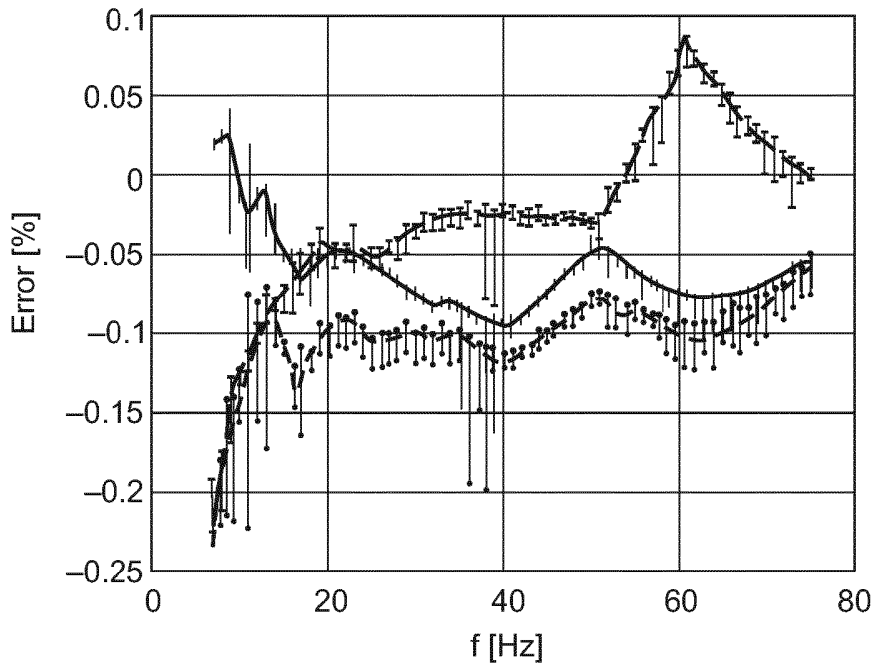


Fig. 9b