



SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU
PATENTSKRIFT



F1000118660B

(10) FI 118660 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

31.01.2008

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

H02H 7/085 (2006.01)

H02H 6/00 (2006.01)

(21) Patenttihakemus - Patentansökning

20040155

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

02.02.2004

(24) Alkupäivä - Löpdag

02.02.2004

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

03.08.2005

(73) Haltija - Innehavare

1 •ABB Oy, Strömbergintie 1, 00380 Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Kuivalainen, Janne, Sepänkyläntie 41, 65300 Vaasa, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 •Österback, Peter, Karperövägen 881, 65650 Koskö, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Kolster Oy Ab
Iso Roobertinkatu 23, 00120 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Terminen ylikuormitussuoja
Termiskt överbelastningskydd

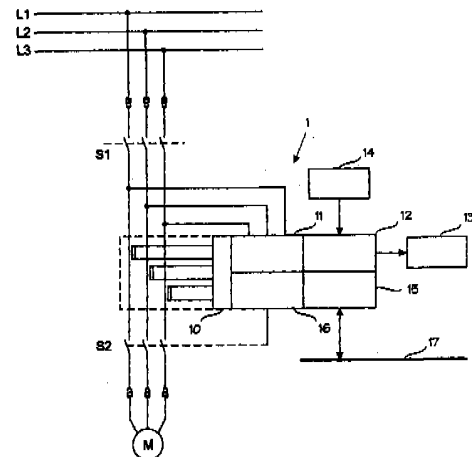
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP 0869597 A1, US 6563685 B2, US 5644510 A, US 4717984 A, WO 01/24340 A1,
Steven W. Smith: The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. ISBN 0-9660176-3-3 (1997), Chapter 28,
Digital Signal Processors, pp 503-534, Last updated 12/28/01

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Sähkölaitteen, erityisesti sähkömoottorin (M), terminen ylikuormitussuoja (1) mittaa (10) sähkölaitteelle (M) syötetyn kuormavirran ja laskee (16) sähkölaitteen termisen kuormituksen mitatun kuormavirran perusteella sekä laukaisee (S2) virransyötön (L1, L2, L3) keskeytyksen, kun terminen kuormitus saavuttaa tietyn kynnyksen. Suoja käsittää X-bittistä, edullisesti X=32, kiinteän pilkun aritmetiikkaa käyttävän prosessorijärjestelmän, jossa lasketaan myös laukaisuun jäljellä oleva aika yhtälöllä, joka operandeineen on ohjelmoitu mikroprosessorijärjestelmään siten struktuurituna, että tulos tai välitulokset eivät koskaan ylitä X-bittistä arvoa.

Ett termiskt överbelastningskydd (1) för en elapparat, i synnerhet för en elmotor (M), mäter (10) till elapparaten (M) matad belastningsström och beräknar (16) elapparaten termiska belastning på basis av den uppmätta belastningsströmmen samt utlöser (S2) ett avbrott i strömmatningen (L1, L2, L3), då den termiska belastningen når en bestämd tröskelnivå. Skyddet omfattar ett processorsystem som använder X-bits, fördelaktigt X=32, fixed-point aritmetik, där även den tid som finns kvar för utlösning beräknas genom en ekvation som med sina operander är programmerad i mikroprocessorsystemet strukturerad så att resultatet eller mellanresultatet aldrig överskrider X-bitvärdet.



Terminen ylikuormitussuoja

Keksinnön tausta

Keksintö liittyy termiseen ylikuormitussuojaukseen sähkölaitteiden ja erityisesti sähkömoottorien suojaamiseksi ylikuumentumiselta.

5 Sähkömoottoreita hyödynnetään monilla sovellusalueilla käyttämään erilaisia liikkuvia osia. Sähkömoottoriin liittyy usein ohjausyksikkö, joka säätää ja tarkkailee sähkömoottorin toimintaa, esimerkiksi pyörimisnopeutta.

Sähkömoottori voi toimia hetkellisesti myös ylikuormitettuna mutta jos ylikuumentuu kuormituksen jatkuessa, mikä voi johtaa moottorin vaurioitumiseen. Kriittisintä on staattorikämmityksen eristyksen vaurioituminen ylikuumentumisen takia.

Sähkömoottorin suojaamiseksi termistä ylikuormitusta vastaan tunnetaan erilaisia ratkaisuja. Eräs tunnettu ratkaisu perustuu moottorivirran 1..3-
vaiheiseen mittaamiseen ja moottorin lämpenemän mallintamiseen RC-sijais-
15 kytkennällä. Vanhin ja yleisin tekninen toteutus on suoraan tai virtamuuntajan välityksellä pääpiiriin kytketty bi-metallirele (lämpörele).

Eräs tunnettu ratkaisu on moottorin sisälle tai yhteyteen sijoitettu terminen suojakytkin, joka tietyn lämpötilarajan jälkeen laukeaa (trip) ja keskeyttää virrankulun sähkömoottorin läpi. Kehittyneempi versio on elektroninen
20 yksikkö, joka mittaa sähkömoottorin lämpötilaa lämpötila-antureilla ja laukaisee moottorin pois päältä Tämä vaihtoehtoinen tapa perustuu suoraan lämpötilan detektointiin erillisin anturein. Ongelmana on vaikeus saada anturit oikeaan paikkaan. Tällainen suoja reagoi suhteellisen hitaasti.

Numeerisessa suojauksessa tietoa käsitellään numeerisessa muodossa eli digitaalisesti. Analoginen mittaustieto muutetaan A/D-muuntimella digitaalseksi. Varsinainen mittaus- ja suojaustoimintojen toteutus tehdään mikroprosessorin avulla. Termisen ylikuormitussuoja mittaa moottorin tai muun
25 suojattavan kohteen (esim. kaapeli tai muuntaja) vaihevirtojen (kuormavirtojen) tehollisarvoja (rms) ja laskee lämpötilariippuvaisen toiminta-ajan. Tämä termisen toiminta-aika voi olla standardin IEC 60255-8 mukainen:

$$t = \tau \ln \frac{i^2 - i_p^2}{i^2 - i_b^2}$$

missä

t = toiminta-aika

τ = aikavakio

I_p = kuormavirta ennen kuin ylikuormitus tapahtuu

I = kuormavirta

I_b = toimintavirta (maksimi sallittu jatkuva virta)

5 Terminen aikavakio τ on määritelty ajaksi, joka suojattavalta koh-
teelta tarvitaan lämpötila θ , joka on tietty osa (esim. 63%) steady-state-lämpö-
tilasta θ_s , kun suojattavaa kohdetta syötetään vakiovirralla. Toimintavirta I_p on
suurin sallittu jatkuva virta, joka myös vastaa suurinta sallittua lämpötilaa eli
steady-state-lämpötilaa θ_s . Tämä suurin sallittu lämpötila on laukaisutaso (trip
10 level). Vaihtoehtoisesti voidaan vaihevirroista laskea suojattavan kohteen ter-
misen kuormituksen suhteellinen arvo täyteen (100%) termiseen kuormituk-
seen nähden. Laukaisu tapahtuu, kun suhteellinen termisen kuormitus saavut-
taa 100% arvon.

Numeeriseen termiseen suojaukseen liittyy siten raskasta lasken-
15 taa, joka vaatii tehokkaan prosessorin ja nopeita ja kalliita oheispiirejä, kuten
muisteja. Tekniikan tason ratkaisuissa on käytetty tehokasta prosessoria, jossa
on lisäksi sisäänrakennettu matematiikkaprosessori, liukulukuyksikön (Floating
Point Unit, FPU) tai vastaavan yksikkö tosiaikaisen laskennan suorittamiseksi
määritellyssä ajassa. On myös käytetty tehokasta prosessoria, jossa on kirjasto-
20 funktioita, jotka emuloivat liukulukuyksikköä. On myös toteutuksia joissa algo-
ritmi toteutettu ASIC piirein, jolloin niissä ei ohjelmoitavuutta jälkikäteen. Tällai-
seen single purpose -piiriin ei siksi voi tehdä muutoksia vaan tarvitaan aina uu-
si piiri, jos toimintaa halutaan muuttaa. On myös toteutuksia, joissa sekvenssi-
nä mitataan/lasketaan virta - lasketaan lämpenemä - jälleen mitataan, jne. Täl-
25 lainen toteutus ei takaa täysin reaaliaikaista suojausta (ei jatkuvaa mittausta),
mutta sallii tehottomamman prosessorin.

Keksinnön lyhyt selostus

Keksinnön tavoitteena on siten kehittää sähkölaitteiden termiseen
suojaukseen menetelmä ja menetelmän toteuttava laite, joilla suojaukseen liit-
30 tyvää laskentaa voidaan keventää ja prosessorien ja oheispiirien teknisiä vaa-
timuksia alentaa. Keksinnön tavoite saavutetaan menetelmällä ja järjestelmäl-
lä, joille on tunnusomaista se, mitä sanotaan itsenäisissä patenttivaatimuksis-
sa. Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimus-
ten kohteena.

35 Keksinnössä lasketaan reaaliaikaisesti myös aika, joka on jäljellä
ennen laukaisua (tripping), joka aiheutuu termisestä ylikuormituksesta, jos

moottorin käyttöä jatketaan nykyisellä kuormavirralla. Tämä tieto voidaan välittää operaattorille, joka näin tietää mahdollisiin huolto- tai korjaustoimenpiteisiin käytettävissä olevan ajan ennen kuin moottori ja siihen mahdollisesti liittyvä prosessi pysähtyy.

5 Keksinnön mukaisesti laukaisuun jäljellä olevan ajan (time-to-trip) laskeva matemaattinen yhtälö tai algoritmi operandeineen ohjelmoidaan X-bittiselle, edullisesti $X=32$, kiinteän pilkun aritmetiikkaa käyttävälle prosessorijärjestelmälle sopivaksi siten, tulos tai välitulokset eivät ohjelmaa prosessorijärjestelmässä ajettaessa koskaan ylitä X-bittistä arvoa.

10 Mitattu virta skaalataan edullisesti yksikköarvoksi alueelle 0 - Y, missä Y edustaa $Y/100$ % nimellisvirrasta ja edullisesti $Y=65000$, jolloin laskenta on riippumaton todellisesta virta-alueesta.

Keksinnön ansiosta time-to-trip voidaan laskea vähemmän tehokkaalla prosessorilla ja vähällä muistilla, mikä puolestaan laskee laitteen tehonkulutusta, valmistuskustannuksia ja fyysistä kokoa. Laskenta voidaan toteuttaa
15 yksinkertaisella ja siirrettävällä koodilla, joka ei vaadi matematiikkaprosessoria tai matemaattisia kirjastoja. Kuitenkin terminen kuormitus voidaan laskea lähes 64-bitin liukulukulaskennan tarkkuudella, vaikka prosessori käyttäisi 32-bitin kiinteän pilkun aritmetiikkaa.

20 **Kuvioiden lyhyt selostus**

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin esimerkinomaisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joista:

Kuvio 1 on esimerkinomainen lohkoavaio, joka havainnollistaa keksinnön erään keksinnön erään suoritusmuodon mukaista ylikuormitussuojaa;

25 Kuvio 2 on esimerkinomainen signaalikaavio, joka havainnollistaa kuvion 1 laitteen toimintaa; ja

Kuvio 3 on esimerkinomainen vuokaavio, joka havainnollistaa kuvion 1 laitteen toimintaa.

Keksinnön yksityiskohtainen selostus

30 Kuviossa 1 terminen ylikuormitussuoja on kytketty suojattavan sähkömoottorin M tai muun sähkölaitteen ja kolmivaiheisen verkkovirtasyötön L1, L2 ja L3 väliin. S1 on pääverkkokytkin, esimerkiksi manuaalisesti ohjattu, ja S2 on ylikuormitussuojan ohjaama vapautuskytkin, jota ohjataan laukaisusignaalilla TRIP. Ylikuormitussuoja 1 mittaa moottorin M verkkovirtasyötön kunkin vaiheen L1, L2 ja L3 kuormavirtaa virranmittausyksiköllä 10, joka perustuu esi-

35

merkiksi virtamuuntajiin. Lisäksi ylikuormitussuoja 1 voi käsittää mittausyksikön 11 vaihejännitteiden mittaamiseksi. Lisäksi ylikuormitussuoja 1 edullisesti käsittää käyttöliittymän eli ihminen-kone-rajapinnan HMI (Human-Machine-Interface) 12, johon liittyy näyttö 13 ja näppäimistö 14. Edelleen ylikuormitussuoja 1
5 voi käsittää tiedonsiirtoyksikön 15, joka on liitetty paikallisverkkoon (esim. Ethernet), väylään (esim. Profibus) tai muuhun tiedonsiirtomediaan 17.

Keksinnön kannalta oleellisin toiminta liittyy suojaus- ja ohjausyksikköön 16. Ylikuormitussuoja 1 on toteutettu mikroprosessorijärjestelmällä, jolloin pääosa yllämainituista yksiköistä toteutetaan sopivilla mikroprosessorin ohjel-
10 milla ja oheispiireillä, kuten muistipiireillä. Virta- ja jännitemittausyksiköiden tuottamat mittausarvot muutetaan numeerisiksi eli digitaalisiksi arvoiksi digitaal-analogiamuuntimilla (A/D). Keksinnön peruseräily mukaisesti mikroprosessorijärjestelmä käyttää kiinteän pilkun aritmetiikkaa, edullisesti 32-bittistä aritmetiikkaa. Sopiva prosessorityyppi on esimerkiksi 32-bit RISC käskykannan
15 omaava yleiskäyttöinen prosessori, kuten ARM7/9 tai M68k-sarja.

On ymmärrettävä, että yllä esitetty rakenne on vain yksi esimerkki keksinnön toteuttavasta termisestä ylikuormitussuojasta.

Ylikuormitussuoja 1 suojaa moottoria M ylikuumenemiselta ja siitä aiheutuvilta vaurioilta. Suojaus perustuu moottorin termisen kuormituksen las-
20 kemiseen mitattujen vaihevirtojen perusteella. Seuraavaksi selitetään suojan yleistä toimintaa kuvioiden 2 ja 3 esimerkin avulla. Vaihejohtimet L1, L2 ja L3 kytketään moottorille M sulkemalla kytkimet S1 ja S2. Virranmittausyksikkö 10 mittaa vaiheiden virrat (vaihe 31, kuvio 3) ja ohjausyksikkö 16 laskee vaihevirtojen perusteella moottorin M termisen kuorman kiinteän pilkun aritmetiikalla
25 (vaihe 32).

Vaikka termisen kuormituksen laskemisessa käytetty algoritmi ei sinänsä ole keksinnön kannalta olennainen, seuraavassa kuvataan eräs ratkaisu, joka soveltuu kiinteän pilkun aritmetiikalle. Matemaattinen yhtälö voi olla yhdelle vaiheelle seuraava:

$$30 \quad \Theta_k = \Delta T * \frac{i^2}{C} + \left(1 - \frac{\Delta T}{R * C}\right) * \Theta_{k-1}$$

missä

Θ = termien kuorma, edullisesti 0 to 200% vastaten edullisesti arvoaluetta 0-2,4

ΔT = termisen kuorman laskentaväli, edullisesti millisekunneissa

R = sähkölaitteen jäähtyyskerroin, edullisesti 1...10

C = trip-luokan kerroin

i = mitattu kuormavirta

5 Kerroin C on edullisesti trip-luokan kerroin t_6 , joka kertoo moottorille asetetun suurimman käynnistysajan suhteessa todelliseen moottorin käynnistysaikaan. Kerroin C voi olla esimerkiksi 1,7 (x todellinen käynnistysaika). Keksinnön ensisijaisessa suoritusmuodossa trip-luokan kerroin t_6 kerrotaan vakioilla, edullisesti 29.5, tai lasketaan kaavalla $(1/k) * T_e * (I_a/I_n)^2$, missä I_a = käynnistysvirta, I_n = nimellisvirta, T_e = sallittu käynnistysaika ja k = vakio. Vakio k = 10 1,22, kun halutaan vastaava toiminta-aikakäyrästä kuin trip luokan ja t_6 ajan yhdistelmällä (IEC 60947-4-1 vaatimusten mukaiset toiminta-ajat). Mitattu virta skaalataan edullisesti yksikköarvoksi alueelle 0 - Y, missä Y edustaa Y/100 % 15 nimellisvirrasta ja edullisesti $Y=65000$, jolloin laskenta on riippumaton todellisesta virta-alueesta.

Tarkastellaan esimerkkinä 32-bittistä kiinteän pilkun aritmetiikkaa. Yllä kuvattu termisen kuormituksen laskeva matemaattinen yhtälö tai algoritmi operandeineen ohjelmoidaan 32-bittistä kiinteän pilkun aritmetiikkaa käyttävälle prosessorijärjestelmälle sopivaksi siten, tulos tai välitulos eivät ohjelmaa prosessorijärjestelmässä ajettaessa koskaan ylitä 32-bittistä arvoa. 20

Esimerkki tällä tavoin strukturoidusta ja skaalatusta laskentayhtälöstä ohjelmoidusta on

$$\begin{aligned} thRes = & ((\Delta T * (i^2/C) + ROUNDING) / MSEC) \\ & + (((((MSEC * SCALING) - ((\Delta T * SCALING) / (R * C))) / SPART1) * th) / SPART2) \\ & + thFract \end{aligned}$$

missä operandien arvot ovat esimerkiksi seuraavia

25 $thRes$ = terminen kuorma 0 to 200% vastaten arvoaluetta 0-24000
 ROUNDING = esim. 500
 MSEC = esim. 1000
 SCALING = esim. 10000
 SPART1 = esim. SCALING / 10
 SPART2 = esim. SCALING / 100
 30 $thFract$ = edellisen laskennan $thRes$ jaettuna vakiolla, esim. vakiolla = SCALING = 10000.

ROUNDING vastaa desimaalipyöristystä. MSEC skaalaa millisekunnit sekunneiksi. SCALING on tarkkuuden skaalaus. Termien SPART1 ja

SPART2 tulo edustaa aikayksikön (edullisesti millisekuntien) skaalausta, joka on jaettu kahteen osaan laskentatarkkuuden säilyttämiseksi.

Termisen kuormituksen tulos $thRes$ on skaalauksen vuoksi liian suuri (esimerkissä alueella 0-24000) ja se skaalataan alaspäin edustamaan
 5 käytettyä termisen kuormituksen yksikköarvoa (per unit value), esimerkiksi alueelle 0-2,4

$$\Theta = thRES/10000$$

Tämä osamäärä Θ tallennetaan parametrina $thFract$ ja sitä käytetään seuraavalla kerralla laskennassa. Laskentatarkkuus on 0-100% termisellä
 10 kuormituksella parempi kuin 0,1% termisestä kuormituksesta.

Kuvion 2 kuvaaja esittää laskettua termistä kuormitusta Θ ajan t funktiona. Moottorin M käynnistyttyä kylmästä tilasta, se alkaa lämmetä. Samalla tavoin laskettu terminen kuormitus Θ kasvaa ajan funktiona. Kun terminen kuormitus Θ kasvaa tietylle asetetulle hälytystasolle $Alarm_level$, ohjausyksikkö 16 voi antaa hälytyksen operaattorille esimerkiksi käyttöliittymän 12-14 tai tietoliikenneyksikön 15 kautta (vaiheet 35 ja 36 kuviossa 3). Ohjausyksikkö 16 voi myös jatkuvasti tai tietyn tason jälkeen laskea jäljellä olevan ajan laukaisuun (time-to-trip) ja ilmoittaa sen operaattorille (vaiheet 33 ja 34 kuviossa 3).

20 Keksinnön periaatteiden mukaisesti laukaisuun jäljellä oleva aika τ (time-to-trip) lasketaan käyttäen prosessoria, joka käyttää kiinteän pilkun kokonaislukuaritmetiikkaa, edullisesti 32-bittistä. Laskennan perustana käytetty matemaattinen yhtälö voi olla seuraava:

$$\tau = R * C * \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

missä

25 Θ_{trip} = termisen kuormituksen laukaisutaso

Θ = laskettu terminen kuorma

τ = estimoitu aika siihen, kun Θ saavuttaa laukaisutason Θ_{trip}

ΔT = termisen kuorman laskentaväli

R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin

30 C = trip-luokan t_6 -kerroin

i = mitattu virta

Yhtälö operandeineen on ohjelmoitu mikroprosessorijärjestelmään siten strukturoituna, että tulos tai välitulos eivät koskaan ylitä 32-bittistä arvoa.

Keksinnön edullisessa suoritusmuodossa operaattorit ovat seuraavat:

- 5 Θ = laskettu terminen kuorma 0 to 200% vastaten arvoaluetta 0-2,4
 ΔT = termisen kuorman laskentaväli millisekunneissa
R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin alueella 1...10
C = trip-luokan t_6 -kerroin kerrottuna vakiolla, edullisesti 29.5, tai lasketaan kaavalla $(1/k) * T_e * (I_a/I_n)^2$, missä I_a = käynnistysvirta, I_n = nimellisvirta, T_e = sallittu käynnistysaika ja k = vakio. Vakio $k = 1,22$, kun halutaan vastaava toiminta-aikakäyrästä kuin trip luokan ja t_6 ajan yhdistelmällä (IEC 60947-4-1 vaatimusten mukaiset toiminta-ajat).

15 Luonnollinen logaritmi, $\ln(a)$ -funktio voidaan joko laskea normaali-funktion pienellä alijoukolla tai hakutaulukkoa (look-up table) käyttäen. Valinta pienen matemaattisen funktion tai hakutaulukon välillä määräytyy optimointitarpeesta ja vaaditusta deterministisyydestä. Tämä laskenta on 100% deterministinen, kun käytetään hakutaulukkoa.

Luonnollinen logaritmi $\ln(a)$ voidaan kirjoittaa muotoon:

- 20 $\ln(a) \cdot e^{\ln(a)}$
 $\ln(c) = \ln(e^{10}) + \ln(a) \Rightarrow$
 $\ln(c) = 10 + \ln(a)$

Tämän seurauksena keksinnön eräässä suoritusmuodossa operaattori a ja time-to-trip τ lasketaan skaalatuilla yhtälöillä

- 25 $a = 1 * e^{10_SCALING - (\Theta_{trip} - \Theta) * e^{10_SCALING} / (i_2 / PUCOMP - \Theta)}$
 $\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$

missä

Kerroin $e^{10_SCALING}$ (esim. 22026) approksimoiden skaalausta e^{10} :lle (esim. 22026,47).

- 30 LN_e10 funktiota $\ln(e^{10})$. Esimerkiksi $LN_e10 = 10$ edustaa funktiota $\ln(e^{10})=10$.

i = mitattu virta skaalattuna yksikköarvoksi, esimerkiksi alueelle 0-65000, joka vastaa 0-650% nimellisvirrasta,

$SCALING$ on tarkkuusskaalaus, jonka arvo (esim. 10000) riippuu vaaditusta tarkkuudesta.

- 35 $PUCOMP$ on yksikkökohtainen (per unit) kompensatio (esim. 10000).

Time-to-trip arvon τ estimointi voidaan laskea hitaammin, esimerkiksi 10 kertaa hitaammin kuin terminen kuormitus. τ pitäisi kuitenkin laskea vähintään kerran sekunnissa. Tuloksen tarkkuus on parempi kuin +/- 1 sekunti.

Esimerkki hakutaulukosta on esitetty taulukossa 1.

5

```

Uint32 logTab[] = {
    0,      55452, 62383, 66438, 69315, 71546, 73369, 74911, 76246, 77424, 78478,
    79431, 80301, 81101, 81842, 82532, 83178, 83784, 84355, 84896, 85409, 85897,
    86362, 86807, 87232, 87641, 88033, 88410, 88774, 89125, 89464, 89792, 90109,
    90417, 90715, 91005, 91287, 91561, 91828, 92087, 92341, 92587, 92828, 93064,
    93294, 93518, 93738, 93953, 94164, 94370, 94572, 94770, 94964, 95155, 95342,
    95525, 95705, 95882, 96056, 96227, 96395, 96561, 96723, 96883, 97041, 97196,
    97348, 97499, 97647, 97793, 97937, 98079, 98218, 98356, 98492, 98627, 98759,
    98890, 99019, 99146, 99272, 99396, 99519, 99640, 99760, 99878, 99995, 100111,
    100225, 100338, 100450, 100560, 100670, 100778, 100885, 100991, 101095, 101199, 101301,
};

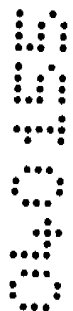
```

Taulukko 1.

Taulukossa toimii indeksinä operaattorin a arvo 256:n jaksoissa. Jos $a < 256$, haetaan taulukon ensimmäinen arvo eli 0. Jos $a = 256$, haetaan taulukon toinen arvo eli 55452; kun $a = 512$, haetaan taulukon kolmas arvo eli 62383, jne. Taulukko korvaa funktion $\ln(a)$ laskemisen ja esimerkkitaupauksessa ottaa myös huomioon SCALING-kertoimen.

Kun terminen kuormitus Θ kasvaa tietylle asetetulle laukaisutasolle Θ_{Trip} (edullisesti 100% moottorin lämpökuormasta), ohjausyksikkö 16 aktivoi laukaisusignaalin TRIP, joka ohjaa kytkimen S2 auki, jolloin moottori M kytetään irti kolmivaihesyötöstä L1, L2 ja L3 (vaiheet 37 ja 38 kuviossa 3). Jos moottorin termistä kapasiteettia on laukaisun (tripping jälkeen) jälkeen jäljellä liian vähän (esim. vähemmän kuin 60%), suoja 1 voi estää uuden käynnistykseen kunnes moottori jäähtyy tietylle tasolle (restart inhibit) tai tietyn ajan (vaiheet 39 ja 40 kuviossa 3). Käynnistystä varten signaali TRIP kytketään jälleen inaktiiviseksi ja kytkin S2 suljetaan. Eräässä suoritusmuodossa operaattori voi ohjata ohjausyksikön 16 override-tilaan, jossa Trip-taso on kaksinkertainen (override Trip-taso).

Alan ammattilaiselle on ilmeistä, että tekniikan kehittyessä keksintön perusajatus voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät siten rajoitu yllä kuvattuihin esimerkkeihin vaan ne voivat vaihdella patenttivaatimusten puitteissa.



Patenttivaatimukset

1. Laite sähkölaitteen, erityisesti sähkömoottorin (M), termistä yli-kuormitussuojausta varten, joka laite käsittää välineet (10) sähkölaitteelle (M) syötetyn ainakin yhden kuormavirran mittaamiseksi, välineet (16) sähkölaitteen termisen kuormituksen laskemiseksi mainitun ainakin yhden kuormavirran perusteella, välineet (S2) virransyötön (L1,L2,L3) keskeytyksen laukaisemiseksi, kun terminen kuormitus saavuttaa tietyn kynnystason, sekä X-bittistä, edullisesti X=32, kiinteän pilkun aritmetiikkaa käyttävän prosessorijärjestelmän, tunnettu siitä, että prosessorijärjestelmä sisältää välineet mitatun virran skaalaamiseksi yksikköarvoksi alueelle 0 - Y, missä Y edustaa Y/100 % nimellisvirrasta, ja välineet laukaisuun jäljellä olevan ajan laskemiseen yhtälön mukaisesti

$$\tau = R \cdot C \cdot \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

missä

Θ_{trip} = termisen kuormituksen laukaisutaso

15 Θ = laskettu terminen kuorma

τ = estimoitu aika siihen, kun Θ saavuttaa laukaisutason Θ_{trip}

ΔT = termisen kuorman laskentaväli

R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin

C = trip-luokan kerroin

20 i = mitattu virta

jolloin yhtälö operandeineen on ohjelmoitu mikroprosessorijärjestelmään siten struktruoituna, että tulos tai välitulokset eivät koskaan ylitä X-bittistä arvoa.

25 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen laite, tunnettu siitä, että käytetään yhtä tai useampia seuraavista operandien arvoista

$\Theta = 0$ to 200% vastaten edullisesti arvoaluetta 0-2,4

ΔT = termisen kuorman laskentaväli millisekunneissa

R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin alueella 1...10

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen laite, tunnettu siitä, että

matemaattinen yhtälö, joka on operandeineen strukturoitu siten, että termisen kuorman laskennan tulos tai välitulos eivät koskaan ylitä 32-bittistä arvoa on

$$a = 1 * e^{10_SCALING - (\Theta_{trip} - \Theta)} * e^{10_SCALING / (i^2 / PUCOMP - \Theta)}$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$$

missä

$e^{10_SCALING}$ on funktion e^{10} skaalauskerroin

LN_e10 edustaa funktiota $\ln(e^{10})$

i = mitattu virta skaalattuna yksikköarvoksi

SCALING on tarkkuusskaalaus, jonka arvo riippuu vaaditusta tarkkuudesta

PUCOMP on yksikkökohtainen kompensatio.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen laite, tunnettu siitä, että käytetään yhtä tai useampaa seuraavista operandien arvoista

$$e^{10_SCALING} = 22026$$

$$LN_e10 = 10$$

i = mitattu virta skaalattuna yksikköarvoksi alueelle 0-65000, joka vastaa 0-650% nimellisvirrasta,

$$SCALING = 10000$$

$$PUCOMP = 10000.$$

5. Jonkin patenttivaatimuksen 1-4 mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää muistin, johon on tallennettu hakutaulukko, jossa on funktion $\ln(a)$ arvot joukolle parametrin a arvoja, ja että mainitut laskentavälineet on sovitettu hakemaan parametria a vastaava arvo hakutaulukosta yhtälön laskennan aikana.

6. Patenttivaatimuksen 1, 2, 3 tai 4 mukainen laite, tunnettu siitä, että C on trip-luokan kerroin t_g kerrottuna vakiolla, edullisesti 29.5, tai laskettuna kaavalla $(1/k) * T_e * (I_a / I_n)^2$, missä I_a = käynnistysvirta, I_n = nimellisvirta, T_e = sallittu käynnistysaika ja k = vakio, edullisesti $k = 1,22$.

7. Menetelmä sähkölaitteen, erityisesti sähkömoottorin, termistä ylikuormitussuojausta varten, joka menetelmä käsittää

ainakin yhden sähkölaitteelle syötetyn kuormavirran mittaamisen,

sähkölaitteen termisen kuormituksen laskemisen mainitun ainakin yhden kuormavirran perusteella,

laukaisuun jäljellä olevan ajan laskemisen LX-bittisellä, edullisesti kiinteän pilkun aritmetiikkaa käyttävällä prosessorijärjestelmällä,

virransyötön keskeyttämisen sähkölaitteelta, kun termien kuormitus saavuttaa tietyn kynnyksen, t u n n e t t u siitä, että

5 mitattu virta skaalataan yksikköarvoksi alueelle 0 - Y, missä Y edustaa Y/100 % nimellisvirrasta,

laukaisuun jäljellä oleva aika lasketaan mainitulla prosessorijärjestelmällä ratkaisemalla seuraava yhtälö siten strukturoituna ja skaalattuna, että tulos tai välitulos eivät koskaan ylitä X-bittistä arvoa:

$$\tau = R \cdot C \cdot \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

10 missä

Θ_{trip} = termisen kuormituksen laukaisutaso

Θ = laskettu termien kuorma

τ = estimoitu aika siihen, kun Θ saavuttaa laukaisutason Θ_{trip}

ΔT = termisen kuorman laskentaväli

15 R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin

C = trip-luokan kerroin

i = mitattu virta.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että käytetään yhtä tai useampaa seuraavista operandien arvoista

20 Θ = laskettu termien kuorma 0 to 200% vastaten arvoaluetta 0-2,4

ΔT = termisen kuorman laskentaväli millisekunneissa

R = sähkölaitteen jäähdytyskerroin alueella 1...10

9. Patenttivaatimuksen 7 tai 8 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että

25 matemaattinen yhtälö, joka on operandeineen strukturoitu siten, että termisen kuorman laskennan tulos tai välitulos eivät koskaan ylitä 32-bittistä arvoa on

$$a = 1 * e^{10_SCALING - (\Theta_{trip} - \Theta) * e^{10_SCALING} / (i^2 / PUCOMP - \Theta)}$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$$

30 missä

$e^{10_SCALING}$ on funktion e^{10} skaalausekero

LN_e10 edustaa funktiota $\ln(e^{10})$

i = mitattu virta skaalattuna yksikköarvoksi

SCALING on tarkkuuskaalaus, jonka arvo riippuu vaaditusta tarkkuudesta.

PUCOMP on yksikkökohtainen kompensatio.

5 10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että käytetään yhtä tai useampaa seuraavista operandien arvoista

$e_{10_SCALING} = 22026$

$LN_e_{10} = 10$

10 i = mitattu virta skaalattuna yksikköarvoksi alueelle 0-65000, joka vastaa 0-650% nimellisvirrasta,

SCALING = 10000

PUCOMP = 10000.

11. Jonkin patenttivaatimuksen 7-10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että

15 tallennetaan hakutaulukko, jossa on funktion $\ln(a)$ arvot joukolle parametrin a arvoja, ja

haetaan parametria a vastaava arvo hakutaulukosta laskennan aikana.

20 12. Patenttivaatimuksen 7, 8, 9 tai 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että C on trip-luokan kerroin t_6 kerrottuna vakiolla, edullisesti 29.5, tai laskettuna kaavalla $(1/k) * T_e * (I_a/I_n)^2$, missä I_a = käynnistysvirta, I_n = nimellisvirta, T_e = sallittu käynnistysaika ja k = vakio, edullisesti $k = 1,22$.



Patentkrav

1. Anordning för termiskt överbelastningskydd för en elapparat, i synnerhet för en elmotor (M), vilken anordning omfattar medel (10) för mätning av åtminstone en till elapparaten (M) matad belastningsström, medel (16) för
 5 beräkning av elapparatens termiska belastning på basis av nämnda åtminstone en belastningsström, medel (S2) för utlösning av ett avbrott i strömmatningen (L1, L2, L3), då den termiska belastningen når en bestämd tröskelnivå, samt ett X-bitars, fördelaktigt X=32, processorsystem, som använder fixed-point aritmetik, k ä n n e t e c k n a d av att processorsystemet innefattar medel
 10 för skalning av den uppmätta strömmen till ett enhetsvärde på ett område av 0-Y, där Y representerar Y/100 % av en nominell ström, och medel för beräkning av kvarvarande tid till utlösning enligt formeln

$$\tau = R \cdot C \cdot \ln(a)$$

$$15 \quad a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

där

Θ_{trip} = utlösningnivå för termisk belastning

Θ = beräknad termisk belastning

20 τ = estimerad tid till den tidpunkt, då Θ når utlösningnivån Θ_{trip}

ΔT = intervall för beräkning av termisk belastning

R = elapparatens kylfaktor

C = trip-klassfaktor

i = uppmätt ström

25 varvid ekvationen med dess operander är programmerad i mikroprocessorsystemet sålunda strukturerad att resultatet eller mellanresultatet aldrig överskrider X-bitarsvärdet.

2. Anordning enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att man använder en eller flera av följande operandvärden

30 Θ = 0-200% fördelaktigt motsvarande ett värdeområde 0-2,4

ΔT = intervall för beräkning av termisk belastning i millisekunder

R = elapparatens kylfaktor i ett område av 1... 10.

3. Anordning enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a d av att den matematiska ekvationen, som med operander är sålunda struk-

turerad att resultatet eller mellanresultatet för beräkningen av den termiska belastningen aldrig överskrider 32-bitarsvärdet, är

$$a = 1 * e_{10_SCALING} - (\Theta_{trip} - \Theta) * e_{10_SCALING} / (i_2 / PUCOMP - \Theta)$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$$

5 där

$e_{10_SCALING}$ är skalningsfaktorn för funktionen e^{10}

LN_e10 representerar funktionen $\ln(e^{10})$

i = uppmätt ström som skalats till enhetsvärde

10 $SCALING$ är precisionsskalning, vars värde beror på den erfordrade precisionen,

$PUCOMP$ är compensation per enhet.

4. Anordning enligt patentkrav 3, kännetecknad av att man använder en eller flera av följande operandvärden

$e_{10_SCALING} = 22026$

15 $LN_e10 = 10$

i = uppmätt ström som skalats till enhetsvärde till området 0-65000 som motsvarar 0-650% av den nominella strömmen,

$SCALING = 10000$

$PUCOMP = 10000$.

20 5. Anordning enligt något av patentkraven 1-4, kännetecknad av att anordningen omfattar ett minne, i vilket en söktabell är lagrad omfattande värden för funktion $\ln(a)$ för en grupp värden för parametern a , och att nämnda beräkningsmedel är anordnade att söka fram ett värde som motsvarar parametern a i söktabellen under beräkningen av ekvationen.

25 6. Anordning enligt patentkrav 1, 2, 3 eller 4, kännetecknad av att C är trip-klassfaktor t_6 multiplicerad med en konstant, fördelaktigt 29,5, eller beräknad med formeln $(1/k) * T_e * (I_a / I_n)^2$, där I_a = startström, I_n = nominell ström, T_e = tillåten starttid och k = konstant, företrädesvis $k = 1,22$.

30 7. Förfarande för termiskt överbelastningsskydd för en elapparat, i synnerhet för en elmotor, vilket förfarande omfattar

mätning av åtminstone en till elapparaten matad belastningsström,

beräkning av elapparatens termiska belastning på basis av nämnda åtminstone en belastningsström,

35 beräkning av kvarvarande tid till utlösning med hjälp av ett LX-bitars processorsystem som fördelaktigt använder fixed-point aritmetik,

avbrytning av strömmatningen från elapparaten, när den termiska belastningen når en bestämd tröskelnivå, kännetecknat av att den uppmätta strömmen skalas till ett enhetsvärde på ett område av 0-Y, där Y representerar Y/100 % av en nominell ström,
 5 den kvarvarande tiden till utlösning beräknas med hjälp av nämnda processorsystem genom att lösa följande ekvation sålunda strukturerad och skalad att ett resultat eller mellanresultat aldrig överskrider X-bitarsvärdet:

$$\tau = R * C * \ln(a)$$

$$10 \quad a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

där

Θ_{trip} = utlösningnivå för termisk belastning

Θ = beräknad termisk belastning

15 τ = estimerad tid till den tidpunkt, då Θ når utlösningnivån Θ_{trip}

ΔT = intervall för beräkning av termisk belastning

R = elapparatens kylfaktor

C = trip-klassfaktor

i = uppmätt ström.

20 8. Förfarande enligt patentkrav 7, kännetecknat av att man använder en eller flera av följande operandvärden

Θ = beräknad termisk belastning 0-200% motsvarande ett värdeområde 0-2,4

ΔT = intervall för beräkning av termisk belastning i millisekunder

25 R = elapparatens kylfaktor i ett område av 1... 10.

9. Förfarande enligt patentkrav 7 eller 8, kännetecknat av att den matematiska ekvationen, som med operander är sålunda strukturerad att resultatet eller mellanresultatet för beräkningen av den termiska belastningen aldrig överskrider 32-bitarsvärdet, är

$$30 \quad a = 1 * e^{10_SCALING - (\Theta_{trip} - \Theta) * e^{10_SCALING / (i^2 / PUCOMP - \Theta)}}$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$$

där

$e^{10_SCALING}$ är skalningsfaktorn för funktionen e^{10}

LN_e10 representerar funktionen $\ln(e^{10})$

35 i = uppmätt ström som skalats till enhetsvärde

SCALING är precisionsskalning, vars värde beror på den erfordrade precisionen,

PUCOMP är compensation per enhet.

10. Förfarande enligt patentkrav 9, kännetecknat av att man
5 använder en eller flera av följande operandvärden

$e_{10_SCALING} = 22026$

$LN_{e10} = 10$

i = uppmätt ström som skalats till enhetsvärde till området 0-65000
som motsvarar 0-650% av den nominella strömmen,

10 $SCALING = 10000$

$PUCOMP = 10000$.

11. Förfarande enligt något av patentkraven 7-10, kännetecknat
av

15 lagring av en söktabell omfattande värden för funktion $\ln(a)$ för en
grupp värden för parametern a , och

framsökning av ett värde som motsvarar parametern a i söktabellen
under beräkningen av ekvationen.

12. Förfarande enligt patentkrav 7, 8, 9 eller 10, kännetecknat
av att C är trip-klassfaktor t_6 multiplicerad med en konstant, fördelaktigt 29,5,
20 eller beräknad med formeln $(1/k) * T_e * (I_a/I_n)^2$, där I_a = startström, I_n = nomi-
nell ström, T_e = tillåten starttid och k = konstant, företrädesvis $k = 1,22$.

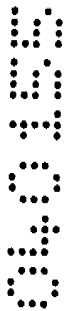


Fig. 1

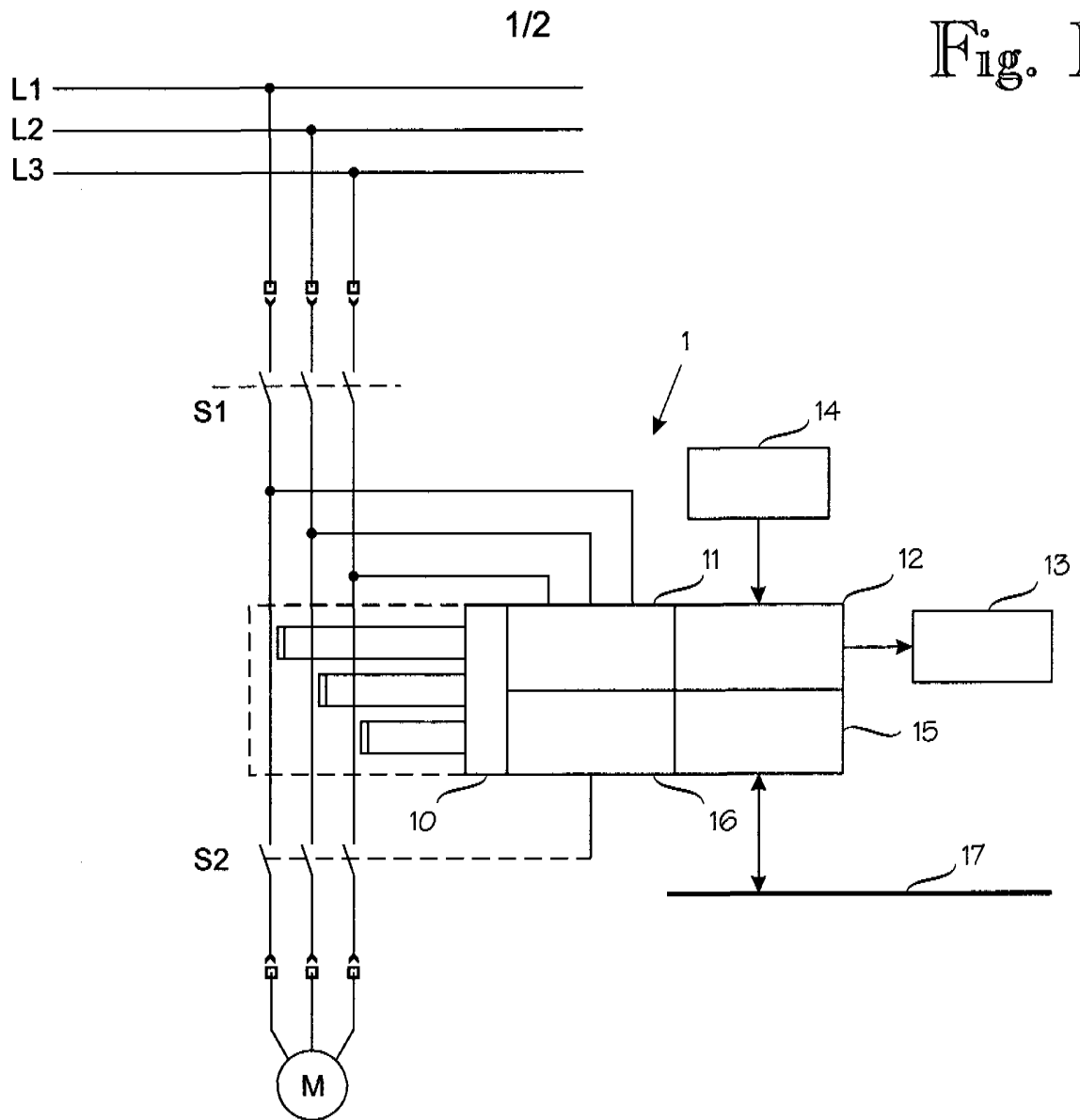
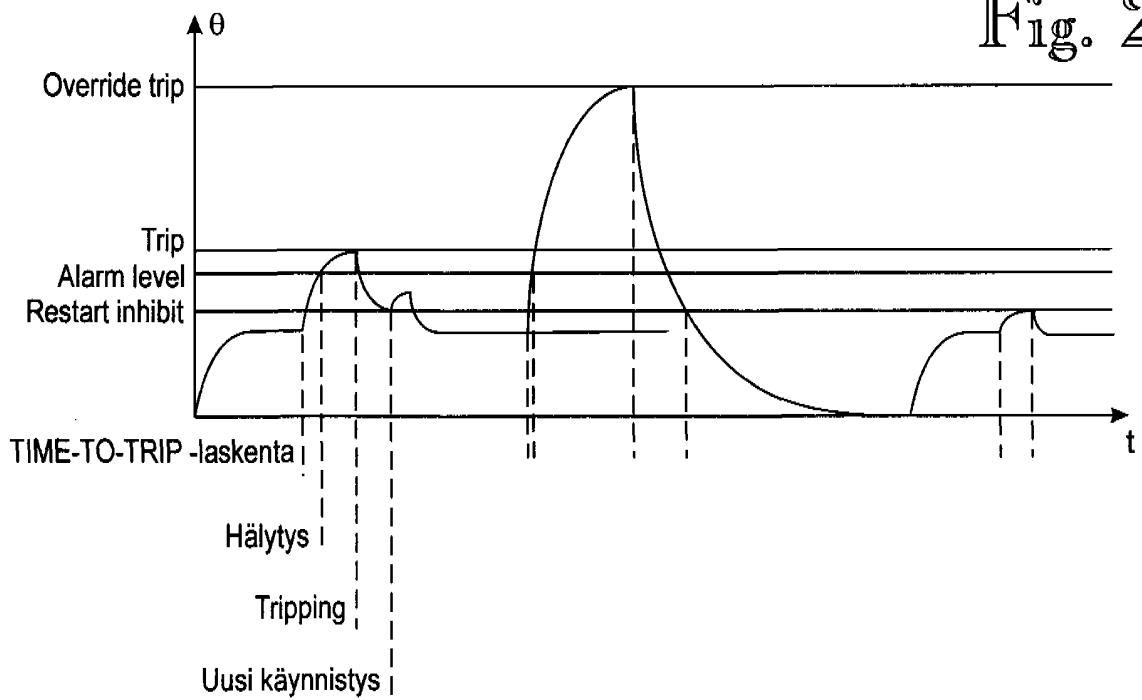
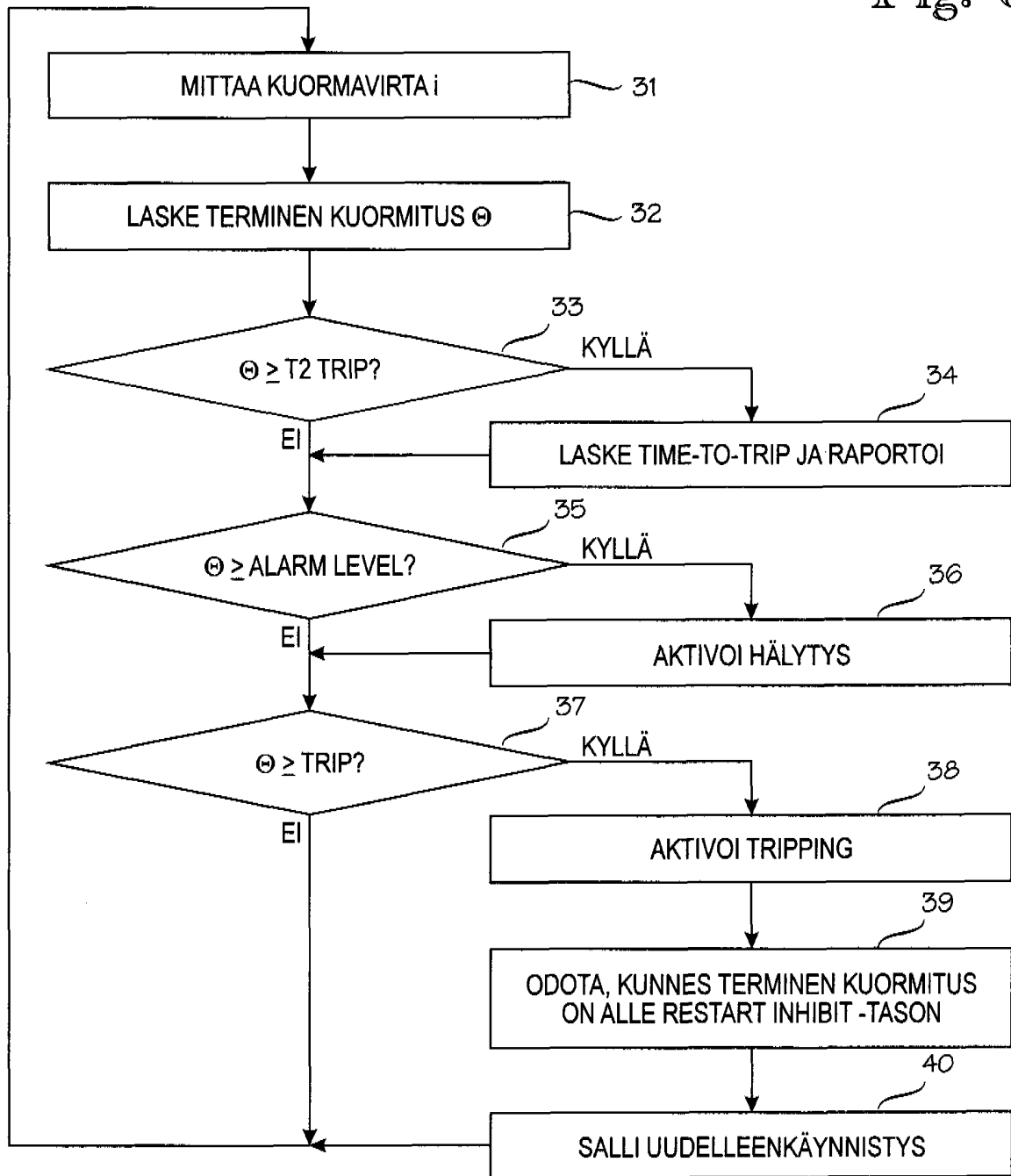


Fig. 2



4
 5
 6
 7
 8
 9
 0
 .
 -
 /
 *
 +
 =



4
5
6
7
8
9
0
1
2
3

4
5
6
7
8
9
0
1
2
3