

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7397143号
(P7397143)

(45)発行日 令和5年12月12日(2023.12.12)

(24)登録日 令和5年12月4日(2023.12.4)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 B 13/065 (2006.01)

H 0 2 B 13/065

F

H 0 2 B 13/055 (2006.01)

H 0 2 B 13/055

A

G 0 1 M 3/26 (2006.01)

G 0 1 M 3/26

M

G 0 1 M 3/26

K

請求項の数 9 (全14頁)

(21)出願番号 特願2022-141798(P2022-141798)

(22)出願日 令和4年9月7日(2022.9.7)

(65)公開番号 特開2023-38941(P2023-38941A)

(43)公開日 令和5年3月17日(2023.3.17)

審査請求日 令和4年9月7日(2022.9.7)

(31)優先権主張番号 202111040504

(32)優先日 令和3年9月7日(2021.9.7)

(33)優先権主張国・地域又は機関
インド(IN)

(31)優先権主張番号 2115415.8

(32)優先日 令和3年10月27日(2021.10.27)

(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)

(73)特許権者 518042280

イートン インテリジェント パワー リ
ミテッドEaton Intelligent P
ower Limited
アイルランド共和国 ダブリン 4 ペム
ブローク・ロード 30
30 Pembroke Road, D
ublin 4 D04 Y0C2, Ir
eland

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラ
インハルト

(74)代理人 100098501

弁理士 森田 拓

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気開閉装置の充填ガスの寿命予測

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気開閉装置(1)の充填ガス(2)の寿命を予測する方法であって、

a) 第1の時点 t_1 において所定の温度 T_p で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第1の圧力値 p_1 を測定し、第2の時点 t_2 において同じ前記所定の温度 T_p で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第2の圧力値 p_2 を測定する工程、又は、

b) 第1の時点 t_1 において所定の温度範囲内の第1の温度 T_1 で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第1の圧力値 p_1 を測定し、第2の時点 t_2 において同じ前記所定の温度範囲内の第2の温度 T_2 で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第2の圧力値 p_2 を測定する工程と、

ー前記第1の圧力値 p_1 と前記第2の圧力値 p_2 との間の圧力差 Δp を計算する工程と、

ー前記圧力差 Δp に基づいて、前記充填ガス(2)の寿命を計算する工程と、

を含み、前記第1の圧力値 p_1 及び／又は第2の圧力値 p_2 がコンデンサの体積変化に基づいて計算され、前記コンデンサが前記コンデンサの2つの電極(6、7)間に誘電材料(8)としてエラストマーを有することを特徴とする、方法。

【請求項2】

前記充填ガスの総寿命 L_{Total} が、以下の式を使用して計算され、

【数1】

$$\Delta p_{ptu} = \frac{p_{high} - p_{low}}{LT_{nominal}}$$

$$LT_{nominal} = \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p_{ptu}}$$

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{\Delta p} \cdot LT_{nominal} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{p_2 - p_1} \cdot LT_{nominal}$$

式中、 p_1 は、前記第1の圧力値であり、 p_2 は、前記第2の圧力値であり、 Δp は、前記第2の圧力値 p_2 と前記第1の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、前記第1の時点であり、 t_2 は、前記第2の時点であり、 Δt は、前記第2の時点 t_2 と前記第1の時点 t_1 との間の時間差であり、 Δp_{ptu} は、時間単位当たりの公称圧力降下であり、 $LT_{nominal}$ は、前記充填ガス(2)の公称寿命であり、 p_{low} は、前記充填ガス(2)の最低圧力値であり、 p_{high} は、前記充填ガス(2)の最高圧力値である、ことを特徴とする、請求項1に記載の方法。

10

【請求項3】

前記充填ガス(2)の残りの寿命 LT_{remain} が、以下の式を使用して計算されることを特徴とする、請求項2に記載の方法。

【数2】

20

$$LT_{remain} = LT_{total} \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_{high} - p_{low}}$$

【請求項4】

前記充填ガス(2)の総寿命 LT_{total} が、以下の式を使用して計算され、

【数3】

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

式中、 p_1 は、前記第1の圧力値であり、 p_2 は、前記第2の圧力値であり、 p_{low} は、前記充填ガス(2)の最低圧力値であり、 p_{high} は、前記充填ガス(2)の最高圧力値であり、 Δp は、前記第2の圧力値 p_2 と前記第1の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、前記第1の時点であり、 t_2 は、前記第2の時点であり、 Δt は、前記第2の時点 t_2 と前記第1の時点 t_1 との間の時間差である、ことを特徴とする請求項1又は3に記載の方法。

30

【請求項5】

前記充填ガス(2)の残りの寿命 LT_{remain} が、以下の式を使用して計算され、

【数4】

$$LT_{remain} = \Delta t \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

40

式中、 p_1 は、前記第1の圧力値であり、 p_2 は、前記第2の圧力値であり、 p_{low} は、前記充填ガスの最低圧力値であり、 Δp は、前記第2の圧力値 p_2 と前記第1の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、前記第1の時点であり、 t_2 は、前記第2の時点であり、 Δt は、前記第2の時点 t_2 と前記第1の時点 t_1 との間の時間差である、ことを特徴とする請求項1又は2に記載の方法。

【請求項6】

以下の式を使用して、前記第1の圧力値 p_1 が、 p_{1corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられる、及び／又は第2の圧力値 p_2 が、 p_{2corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられ、

50

【数 5】

$$p_{1corr} = p_1 - R \cdot \frac{T_1 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

$$p_{2corr} = p_2 - R \cdot \frac{T_2 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

式中、 T_1 は、前記第1の温度であり、 T_2 は、前記第2の温度であり、 V_{gas} は、前記充填ガス(2)の体積であり、 R は前記充填ガス(2)のガス定数であり、 p_{1corr} は、第1の補正圧力値であり、 p_{2corr} は、第2の補正圧力値である、ことを特徴とする、請求項1又は2に記載の方法。

10

【請求項7】

前記第1の圧力値 p_1 又は前記第2の圧力値 p_2 が、前記充填ガス(2)の最低圧力値 p_{low} 未満に降下する場合、警告が出力されることを特徴とする、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項8】

前記所定の温度 T_p 又は前記所定の温度範囲が、IEC規格IEC62271-100/200又は電気開閉装置(1)の公称温度動作範囲に従って選択されることを特徴とする、請求項1又は2に記載の方法。

20

【請求項9】

電気開閉装置(1)の充填ガス(2)の寿命を予測するためのシステムであって、

i. 前記電気開閉装置(1)のシステム内の圧力値を測定するための圧力センサ(5)であって、コンデンサを含み、前記コンデンサが、前記コンデンサの2つの電極(6、7)間に誘電材料(8)としてエラストマーを有する、圧力センサ(5)と、

ii. 前記電気開閉装置(1)のシステム内の温度を測定するための温度センサ(10)と、

iii. プロセッサ(12)及びメモリ(13)を備える評価ユニット(11a)と、を備え、容量性の前記圧力センサ(5)と前記温度センサ(10)とが、前記評価ユニット(11a)に接続されており、

30

前記システムが、

a) 第1の時点 t_1 において、前記温度センサ(10)を使用して測定された所定の温度 T_p で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第1の圧力値 p_1 を、前記圧力センサ(5)を使用して測定し、第2の時点 t_2 において前記温度センサ(10)を使用して測定された同じ前記所定の温度 T_p で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)の前記システム内の第2の圧力値 p_2 を、前記圧力センサ(5)を使用して測定する工程と、又は、

b) 第1の時点 t_1 において所定の温度範囲内の前記温度センサ(10)を使用して測定された第1の温度 T_1 で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)のシステム内の第1の圧力値 p_1 を、前記圧力センサ(5)を使用して測定し、第2の時点 t_2 において同じ前記所定の温度範囲内の、前記温度センサ(10)を使用して測定された第2の温度 T_2 で前記充填ガス(2)を含有する前記電気開閉装置(1)の前記システム内の第2の圧力値 p_2 を、前記圧力センサ(5)を使用して測定する工程と、

40

ー前記第1の圧力値 p_1 と前記第2の圧力値 p_2 との間の圧力差 Δp を計算する工程と、
ー前記圧力差 Δp に基づいて、前記充填ガス(2)の寿命を計算する工程と、を実行するように構成されており、前記第1の圧力値 p_1 及び/又は第2の圧力値 p_2 がコンデンサの体積変化に基づいて計算され、前記コンデンサが前記コンデンサの2つの電極(6、7)間に誘電材料(8)としてエラストマーを有する、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、電気開閉装置の充填ガスの寿命を予測する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

最初に、電気開閉装置のシステムは、電気開閉装置の充填ガスを形成する絶縁ガスで充填することができる。例えば、絶縁ガスは、六フッ化硫黄（SF₆）からなり得るか、又はそれを含み得る。充填ガスは経時的にシステムから漏れ得るため、絶縁機能が低下する可能性がある。例えば、ガス充填システム内に配置された切換デバイスに対して、最低の絶縁機能を確保するために、充填ガスの最低圧力値を定義することができる。充填ガスの圧力がこの最低圧力値を下回ると、電気開閉装置の動作が危険になる可能性がある。このため、そのような状況では電気開閉装置の動作を停止することが推奨される。残念ながら、そうした状況は予期せずに発生し、電気開閉装置の不要なダウンタイムにつながる場合がある。

10

【発明の概要】

【0003】

したがって、本発明の目的は、電気開閉装置の充填ガスの寿命を予測する方法を提供することである。特に、電気開閉装置の予期せぬダウンタイムは回避されるべきである。

【0004】

本発明の目的は、電気開閉装置の充填ガスの寿命を予測する方法によって達成され、この方法は、

20

a) 第1の時点 t_1 において所定の温度 T_p で充填ガスを含有する電気開閉装置のシステム内の第1の圧力値 p_1 を測定し、第2の時点 t_2 において同じ所定の温度 T_p で充填ガスを含有する電気開閉装置のシステム内の第2の圧力値 p_2 を測定する工程、又は、

b) 第1の時点 t_1 において所定の温度範囲内の第1の温度 T_1 で充填ガスを含有する電気開閉装置のシステム内の第1の圧力値 p_1 を測定し、第2の時点 t_2 において同じ所定の温度範囲内の第2の温度 T_2 で充填ガスを含有する電気開閉装置のシステム内の第2の圧力値 p_2 を測定する工程と、

- －第1の圧力値 p_1 と第2の圧力値 p_2 との間の圧力差 Δp を計算する工程と、
- －当該圧力差 Δp に基づいて充填ガスの寿命を計算する工程と、を含む。

【0005】

30

このようにして、電気開閉装置の予期せぬダウンタイムを回避することができ、電気開閉装置の保守をより良好に計画することができる。

【0006】

ガス充填システム内に配置された切換デバイスの切換動作によって引き起こされ得る充填ガスの急速な温度変化を回避するために、同じ所定の温度 T_p 又は少なくとも所定の温度範囲内の温度で圧力値を取得することが提案される。具体的には、そのような切換デバイスの切換接点の開放中の切換アークは、充填ガスを急速に加熱し、充填ガスの圧力 p 及び温度 T のグラフ内にスパイクを引き起こす可能性がある。試験及び調査により、圧力 p と温度 T のスパイクの間に時間差があることが明らかになった。したがって、以下のガス式を使用して、

40

【0007】

【数1】

$$p \cdot V_{gas} = R \cdot T$$

（式中、 R は、充填ガスのガス定数であり、 V_{gas} は充填ガスの体積である）温度 T が圧力 p に及ぼす影響を考慮に入れ、この影響は、詳細には、圧力 p と温度 T の測定が切換デバイスのオフなどの遷移段階中に行われるとき、好ましくない状況下で無効な寿命予測を引き起こし得る。しかしながら、それは、必ずしも圧力値が所定の温度 T_p 又は温度範囲内でのみ取得されることを意味するものではなく、好ましくは、圧力 p は連続的に測

50

定することができ、好適な値を、寿命予測計算のためにデータストリームから取り出すことができる。

【0008】

具体的には、充填ガスの総寿命 LT_{total} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0009】

【数2】

$$\Delta p_{ptu} = \frac{p_{high} - p_{low}}{LT_{nominal}}$$

$$LT_{nominal} = \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p_{ptu}}$$

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{\Delta p} \cdot LT_{nominal} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{p_2 - p_1} \cdot LT_{nominal}$$

式中、 p_1 は、第1の圧力値であり、 p_2 は、第2の圧力値であり、 Δp は、第2の圧力値 p_2 と第1の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、第1の時点であり、 t_2 は、第2の時点であり、 Δt は、第2の時点 t_2 と第1の時点 t_1 との間の時間差であり、 Δp_{ptu} は、時間単位当たり（例えば、1年当たり）の公称圧力降下であり、 $LT_{nominal}$ は、充填ガスの公称寿命であり、 p_{low} は、充填ガスの最低圧力値であり、 p_{high} は、充填ガスの最高圧力値である。

【0010】

充填ガスの最低圧力値 p_{low} は、最低レベルの絶縁を確保する。その値を下回ると、電気開閉装置の動作が危険になる可能性がある。充填ガスの最高圧力値 p_{high} は通常、システムが充填されたときの初期圧力である。充填ガスの公称寿命 $LT_{nominal}$ は、充填ガスの予想寿命、例えば30年である。時間単位当たりの公称圧力降下 Δp_{ptu} は、この公称寿命 $LT_{nominal}$ 、及び最高圧力値 p_{high} と最低圧力値 p_{low} の差に対応する。

【0011】

充填ガスの残りの寿命 LT_{remain} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0012】

【数3】

$$LT_{remain} = LT_{total} \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_{high} - p_{low}}$$

【0013】

別の実施形態では、充填ガスの総寿命 LT_{total} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0014】

【数4】

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

式中、 p_1 は、第1の圧力値であり、 p_2 は、第2の圧力値であり、 p_{low} は、充填ガスの最低圧力値であり、 p_{high} は、充填ガスの最高圧力値であり、 Δp は、第2の圧

力値 p_2 と第 1 の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、第 1 の時点であり、 t_2 は、第 2 の時点であり、 Δt は、第 2 の時点 t_2 と第 1 の時点 t_1 との間の時間差である。

【0015】

更に、充填ガスの残りの寿命 LT_{remain} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0016】

【数 5】

$$LT_{remain} = \Delta t \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

10

式中、 p_1 は、第 1 の圧力値であり、 p_2 は、第 2 の圧力値であり、 p_{low} は、充填ガスの最低圧力値であり、 Δp は、第 2 の圧力値 p_2 と第 1 の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、第 1 の時点であり、 t_2 は、第 2 の時点であり、 Δt は、第 2 の時点 t_2 と第 1 の時点 t_1 との間の時間差である。

【0017】

有利な実施形態では、以下の式を使用して、上述の式において、第 1 の圧力値 p_1 が、 p_{1corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられ得る、及び／又は第 2 の圧力値 p_2 が、 p_{2corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられ得る。

【0018】

20

【数 6】

$$p_{1corr} = p_1 - R \cdot \frac{T_1 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

$$p_{2corr} = p_2 - R \cdot \frac{T_2 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

式中、 T_1 は、第 1 の温度であり、 T_2 は、第 2 の温度であり、 V_{gas} は、充填ガスの体積であり、 R は充填ガスのガス定数であり、 p_{1corr} は、第 1 の補正圧力値であり、 p_{2corr} は、第 2 の補正圧力値である。これらの測定により、圧力測定を行うために温度範囲が定義されるとき、圧力 p_1 及び p_2 がより正確に決定され得る。好ましくは、基準温度 T_{ref} は、当該温度範囲内である。

30

【0019】

好ましくは、第 1 の圧力値 p_1 及び／又は第 2 の圧力値 p_2 は、コンデンサの体積変化に基づいて計算され、コンデンサは、コンデンサの 2 つの電極間の誘電材料としてエラストマーを有する。

【0020】

詳細には、圧力変化 Δp に基づくエラストマー又は誘電材料の変形は、初期圧力での初期体積 V_0 に関して、比例体積変化 ΔV を引き起こし得る。比例係数は、通常、 B で示され、圧力変化 Δp の式は以下のように示される。

40

【0021】

【数 7】

$$\Delta p = B \frac{\Delta V}{V_0}$$

【0022】

体積変化は、容量性圧力センサの静電容量の変化に基づいて計算され得る。コンデンサがボール形状であることを前提に、静電容量 C は、以下の式を使用して計算することが

50

できる。

【0023】

【数8】

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_o}}$$

式中、 r_o は、可撓性外側電極の半径であり、 r_i は、内側（剛性）電極の半径であり、 ϵ_o は絶対誘電率又は絶対誘電定数であり、 ϵ_r は、相対誘電率又は相対誘電定数である。初期圧力及び実際の圧力での既知の内側（剛性）電極の半径 r_i 及び可撓性外側電極の半径 r_o に基づいて、体積変化 ΔV と圧力変化 Δp は、容易に計算することができる。当然ながら、例えば円筒形などの容量性圧力センサの他の形状も機能する。

10

【0024】

好ましくは、第1の圧力値 p_1 又は第2の圧力値 p_2 が、充填ガスの最低圧力値 p_{low} 未満に降下する場合、警告が出力される。例えば、この警告は、担当者に通知するために、信号灯及び／又は無線インターフェースを介して出力することができる。このようにして、例外的な圧力降下を認識することができる。

【0025】

有利なことに、所定の温度 T_p 又は所定の温度範囲は、IEC規格IEC 62271-100/200又は電気開閉装置の公称温度動作範囲に従って選択される。このようにして、適切な所定の温度 T_p 又は温度範囲が選択され得る。

20

【図面の簡単な説明】

【0026】

本発明は、特定の実施形態を参照して以下により詳細に記載されるが、本発明はこれらに限定されない。

【図1】電気開閉装置の概略図である。

【図2】評価ユニットのより詳細な実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

一般に、同じ部品又は類似の部品は、同じ／類似の名称及び参照符号で示される。本明細書に開示される特徴は、それぞれ同じ／類似の名称及び参照符号を有する部品に適用される。向き及び相対位置を示すことは、関連付けられた図に関連し、向き及び／又は相対位置の表示は、場合によっては、それに応じて異なる図において修正される必要がある。

30

【0028】

図1は、電気開閉装置1のハウジング4内のガスタンク3内の充填ガス2を含む電気開閉装置1の概略図である。充填ガス2は、圧力 p 、体積 V_{gas} 、及び温度 T を有する。

【0029】

ガスタンク3には、電気開閉装置1は、外側電極6と、内側電極7と、両電極間の誘電材料8と、ベース9と、を有する容量性圧力センサ5を備える。誘電材料8は、エラストマーからなり得るか、又はエラストマーを含み得る。充填ガス2の圧力 p は、電極5及び6並びに誘電材料8によって形成されたコンデンサの体積変化に基づいて計算することができる。

40

【0030】

更に、温度センサ10が、ベース9上に配置されている。容量性圧力センサ5及び温度センサ10は、プロセッサ12と、メモリ13と、無線インターフェース14と、を含む評価ユニット11aに接続されている。更に、信号灯15が、評価ユニット11aに接続されている。最後に、電気開閉装置1は、充填ガス2に配置された例示的な切換デバイス16を備える。

【0031】

ガスタンク3は、充填ガス2で充填されたより大きなシステムの一部であり得ること

50

に留意されたい。例えば、システムは、追加のチャンバやチューブなどを備えてもよい。したがって、圧力センサ 5 及び／又は温度センサ 10 は、必ずしもガスタンク 3 内に配置されず、絶縁ガスで充填されたシステム内の別の位置に配置されてもよい。

【0032】

電気開閉装置 1 の機能は、以下のとおりである。

最初に、システム及びしたがってガスタンク 3 は、電気開閉装置 1 の充填ガス 2 を形成する絶縁ガスで充填される。例えば、絶縁ガスは、六フッ化硫黄（SF₆）からなり得るか、又はそれを含み得る。充填ガス 2 は経時的に、システムから、特にガスタンク 3 から漏れ得るため、絶縁機能が低下する可能性がある。例えば、場合によって切換デバイス 16 及び他のデバイスに対して、最低の絶縁機能を確保するために、充填ガス 2 の最低圧力値 p_{low} を定義することができる。充填ガス 2 の圧力 p がこの最低圧力値 p_{low} を下回ると、電気開閉装置 1 の動作が危険になる可能性がある。このため、そのような状況では電気開閉装置 1 の動作を停止することが推奨される。

【0033】

電気開閉装置 1 の予期せぬダウンタイムを回避するために、充填ガス 2 の寿命は、以下の方法に従って予測され、該方法は、

a) 第 1 の時点 t_1 において所定の温度 T_p で充填ガス 2 を含有する電気開閉装置 1 のシステム内の第 1 の圧力値 p_1 を測定し、第 2 の時点 t_2 において同じ所定の温度 T_p で充填ガス 2 を含有する電気開閉装置 1 のシステム内の第 2 の圧力値 p_2 を測定する工程、又は、

b) 第 1 の時点 t_1 において所定の温度範囲内の第 1 の温度 T_1 で充填ガス 2 を含有する電気開閉装置 1 のシステム内の第 1 の圧力値 p_1 を測定し、第 2 の時点 t_2 において同じ所定の温度範囲内の第 2 の温度 T_2 で充填ガス 2 を含有する電気開閉装置 1 のシステム内の第 2 の圧力値 p_2 を測定する工程と、

- －第 1 の圧力値 p_1 と第 2 の圧力値 p_2 との間の圧力差 Δp を計算する工程と、
- －当該圧力差 Δp に基づいて充填ガス 2 の寿命を計算する工程と、を含む。

【0034】

具体的には、充填ガスの総寿命 LT_{total} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0035】

【数 9】

$$\Delta p_{ptu} = \frac{p_{high} - p_{low}}{LT_{nominal}}$$

$$LT_{nominal} = \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p_{ptu}}$$

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{\Delta p} \cdot LT_{nominal} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{\Delta p_{ptu}}{p_2 - p_1} \cdot LT_{nominal}$$

式中、 p_1 は、第 1 の圧力値であり、 p_2 は、第 2 の圧力値であり、 Δp は、第 2 の圧力値 p_2 と第 1 の圧力値 p_1 との間の圧力差であり、 t_1 は、第 1 の時点であり、 t_2 は、第 2 の時点であり、 Δt は、第 2 の時点 t_2 と第 1 の時点 t_1 との間の時間差であり、 Δp_{ptu} は、時間単位当たり（例えば、1 年当たり）の公称圧力降下であり、 $LT_{nominal}$ は、充填ガス 2 の公称寿命であり、 p_{low} は、充填ガス 2 の最低圧力値であり、 p_{high} は、充填ガス 2 の最高圧力値である。

【0036】

既に述べたように、 p_{low} は充填ガス 2 の最低圧力値であり、その値を超えると、電気開閉装置 1 の安全な動作が確保される。充填ガス 2 の最高圧力値 p_{high} は通常、シス

テム又はガスタンク 3 が充填されたときの初期圧力である。充填ガス 2 の公称寿命 $LT_{nominal}$ は、充填ガス 2 の期待寿命、例えば 30 年である。時間単位当たりの公称圧力降下 Δp_{ptu} は、充填ガス 2 の公称寿命 $LT_{nominal}$ 、及び充填ガス 2 の最高圧力値 p_{high} と最低圧力値 p_{low} の差に対応する。

【0037】

充填ガス 2 の残りの寿命 LT_{remain} は、以下の式を使用して計算することができる。

【0038】

【数 10】

$$LT_{remain} = LT_{total} \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_{high} - p_{low}}$$

10

【0039】

詳細には、充填ガス 2 の圧力 p は、本実施形態では、電極 6 及び 7 によって生成された静電容量を測定することによって、圧力センサ 5 を用いて測定される。切替デバイス 16 の切替動作によって引き起こされ得る充填ガス 2 の急速な温度変化を回避するために、同じ所定の温度 T_p 又は少なくとも所定の温度範囲内の温度 T で圧力値を取得することが提案される。具体的には、切替デバイス 16 の切替接点の開放中の切替アークは、充填ガス 2 を急速に加熱し、充填ガス 2 の圧力 p 及び温度 T のグラフ内にスパイクを引き起こす可能性がある。試験及び調査により、圧力 p と温度 T のスパイクの間に時間差があることが明らかになった。以下のガス式を使用して、

20

【0040】

【数 11】

$$p \cdot V_{gas} = R \cdot T$$

(式中、 R は、充填ガスのガス定数である) 温度 T が圧力 p に及ぼす影響を考慮に入れ、この影響は、詳細には、圧力 p と温度 T の測定が切替デバイス 16 のオフなどの遷移段階中に行われるとき、好ましくない状況下で無効な寿命予測を引き起こし得る。しかしながら、それは、必ずしも圧力値が所定の温度 T_p 又は温度範囲内でのみ取得されることを意味するものではなく、好ましくは、圧力 p は連続的に測定することができ、好適な値を、寿命予測計算のためにデータストリームから取り出すことができる。

30

【0041】

したがって、詳細には、評価ユニット 11a のプロセッサ 12 は、圧力センサ 5 を使用して圧力 p の測定、及び温度センサ 10 を使用して温度 T の測定を連続的に（すなわち、所定の時間間隔で）行って、測定値をメモリ 13 に記憶することができる。充填ガス 2 の寿命を計算するために、測定値をメモリ 13 から読み取り、上記の計算に使用することができる。あるいは、プロセッサ 12 は、温度センサ 10 を使用して温度 T を監視し、好適な温度で圧力 p を測定することができる。

40

【0042】

所定の温度 T_p 又は所定の温度範囲は、IEC 規格 IEC 62271-100/200 又は電気開閉装置 1 の公称温度動作範囲に従って選択され得る。このようにして、適切な所定の温度 T_p 又は温度範囲が選択され得る。

【0043】

好ましい実施形態では、第 1 の圧力値 p_1 又は第 2 の圧力値 p_2 が、充填ガス 2 の最低圧力値 p_{low} 未満に降下する場合、警告を出力することができる。例えば、この警告は、担当者に通知するために、信号灯 15 及び／又は無線インターフェース 14 を介して出力することができる。このようにして、例外的な圧力降下を認識することができる。

【0044】

50

別の実施形態では、充填ガス２の総寿命 LT_{total} は、以下の式を使用して計算することができる。

【００４５】

【数１２】

$$LT_{total} = \Delta t \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_{high} - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

充填ガス２の残りの寿命 LT_{remain} は、以下の式を使用して計算することができる。

【００４６】

【数１３】

$$LT_{remain} = \Delta t \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{\Delta p} = (t_2 - t_1) \cdot \frac{p_2 - p_{low}}{p_2 - p_1}$$

【００４７】

すべての実施形態では、有益なことに、以下の式を使用して、上述の式において、第１の圧力値 p_1 が、 p_{1corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられ得る、及び／又は第２の圧力値 p_2 が、 p_{2corr} に置き換えられ、基準温度 T_{ref} に関連付けられ得る。

【００４８】

【数１４】

$$p_{1corr} = p_1 - R \cdot \frac{T_1 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

$$p_{2corr} = p_2 - R \cdot \frac{T_2 - T_{ref}}{V_{gas}}$$

式中、 p_{1corr} は、第１の補正圧力値であり、 p_{2corr} は、第２の補正圧力値である。これらの測定により、圧力測定を行うために温度範囲が定義されるとき、圧力 p がより正確に決定され得る。好ましくは、基準温度 T_{ref} は、当該温度範囲内である。

【００４９】

一般に、充填ガス２の圧力 p は、上述したように電極６及び７並びに誘電材料８によって形成されたコンデンサの体積変化に基づいて計算することができる。詳細には、圧力変化 Δp に基づくエラストマー又は誘電材料８の変形は、初期圧力での初期体積 V_0 に関して、比例体積変化 ΔV を引き起こす。比例係数は、通常、 B で示され、圧力変化 Δp の式は以下のように示される。

【００５０】

【数１５】

$$\Delta p = B \frac{\Delta V}{V_0}$$

【００５１】

体積変化は、容量性圧力センサ５の静電容量の変化に基づいて容易に計算され得る。コンデンサがボール形状であることを前提に、静電容量 C は、以下の式を使用して計算することができる。

【００５２】

10

20

30

40

50

【数 1 6】

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_o}}$$

式中、 r_o は、可撓性外側電極6の半径であり、 r_i は、内側（剛性）電極7の半径であり、 ϵ_o は絶対誘電率又は絶対誘電定数であり、 ϵ_r は、相対誘電率又は相対誘電定数である。初期圧力及び実際の圧力での既知の内側（剛性）電極7の半径 r_i 及び可撓性外側電極6の半径 r_o に基づいて、体積変化 ΔV と圧力変化 Δp は、容易に計算することができる。

10

【0053】

図2は、図1の評価ユニット11aの部品に加えて、信号注入器17、信号調整器18、信号増幅器19、及びコンデンサ20を備える評価ユニット11bのより詳細な実施形態を示す。信号注入器17は、コンデンサ20と容量性圧力センサ5との直列接続に信号を印加するために提供される。信号調整器18は、コンデンサ20の両端間電圧に基づいて、かつ温度センサ10の信号に基づいて、圧力信号を生成するために提供される。信号増幅器19は、最終的に信号調整器18からの信号を増幅し、その信号をプロセッサ12に出力する。

【0054】

本発明は、これまでに開示された実施形態に限定されないが、異なる変形の組み合わせが可能であることに留意されたい。実際には、電気開閉装置1及び評価ユニット11a、11bは、図に示されているよりも多い又は少ない部品を有し得る。更に、本明細書は、更なる独立した発明の主題を含み得る。

20

【0055】

用語「含む（comprising）」は他の要素を除外しないこと、及び冠詞「a」又は「an」の使用は複数を除外しないことにも留意されるべきである。また、異なる実施形態に関連して記載される要素が組み合わせられ得る。特許請求の範囲における参照符号は、特許請求の範囲を限定するものとして解釈されるべきではないことにも留意されるべきである。

【0056】

30

40

50

【表 1】

参照番号のリスト

1	電気開閉装置	
2	充填ガス	
3	ガスタンク	
4	ハウジング	
5	圧力センサ	
6	外側電極	
7	内側電極	
8	誘電材料	
9	ベース	10
10	温度センサ	
11a、11b	評価ユニット	
12	プロセッサ	
13	メモリ	
14	無線インターフェース	
15	信号灯	
16	切換デバイス	
17	信号注入器	
18	信号調整器	
19	信号増幅器	20
20	コンデンサ	
p	圧力	
T	温度	
V _{gas}	充填ガスの体積	

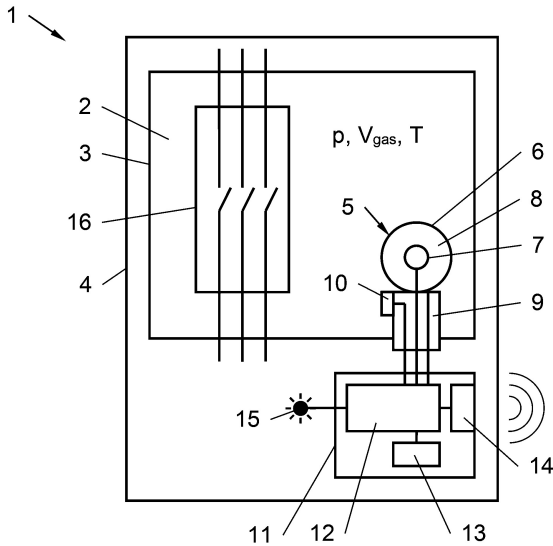
30

40

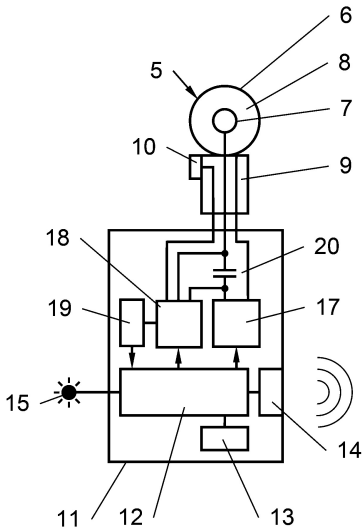
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100116403
弁理士 前川 純一
- (74)代理人 100134315
弁理士 永島 秀郎
- (74)代理人 100162880
弁理士 上島 類
- (72)発明者 エリーゼ、モルスキーフト
オランダ王国 オーファーアイセル 7 5 5 6 E A ヘンゲロー, ヘンゲローセ エストラート 1 3
- (72)発明者 マルセル、ダイク ファン
オランダ王国 オーファーアイセル 7 5 4 1 C H エンスヘデ, ホンホフ エストラート 1
- (72)発明者 ヴィジャイ、クマール
インド ウェスト ベンガル 7 0 0 0 6 1 コルカタ, サルスナ, バグポタ ロード 2 2 1
- (72)発明者 ヨゲシュ、ラジワデ
インド マハーラーシュトラ 4 1 1 0 1 4 プネー, ワドガオン シェリ, ガネーシュ ナガール,
アジンキヤタラ バンガロー, イシュクルパ ソサエティ, プロット ナンバー 1, シリアル ナン
バー 4 2
- 審査官 内田 勝久
- (56)参考文献 特開平 0 5 - 1 1 5 1 1 1 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 0 9 0 4 2 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 8 7 5 6 1 (J P , A)
国際公開第 2 0 2 1 / 0 1 0 0 3 7 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
H 0 1 H 3 3 / 2 8 - 3 3 / 6 8
H 0 2 B 1 3 / 0 0 - 1 3 / 0 8
G 0 1 M 3 / 2 6