

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6852054号
(P6852054)

(45) 発行日 令和3年3月31日 (2021.3.31)

(24) 登録日 令和3年3月12日 (2021.3.12)

(51) Int. Cl.

G O 1 N 27/416 (2006.01)

F I

G O 1 N 27/416 3 O 2 Z

請求項の数 23 (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2018-511393 (P2018-511393)	(73) 特許権者	516147615
(86) (22) 出願日	平成28年8月26日 (2016.8.26)		アシュウィン・ウシャス・コーポレイショ ン・インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2018-526650 (P2018-526650A)		Ashwin-Ushas Corpor ation, Inc.
(43) 公表日	平成30年9月13日 (2018.9.13)		アメリカ合衆国07733ニュージャージ ー州ホルムデル、レッド・コーチ・レイン 9番
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/048832		
(87) 国際公開番号	W02017/040235	(74) 代理人	100101454
(87) 国際公開日	平成29年3月9日 (2017.3.9)		弁理士 山田 卓二
審査請求日	令和1年8月22日 (2019.8.22)	(72) 発明者	ブラサンナ・チャンドラセカル
(31) 優先権主張番号	14/844,367		アメリカ合衆国07733ニュージャージ ー州ホルムデル、レッド・コーチ・レイン 9番
(32) 優先日	平成27年9月3日 (2015.9.3)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デジタルインターフェースを備えたポテンシオスタット／ガルバナスタット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- a. デジタル制御信号を提供するコントローラと、
b. 上記コントローラと電氣的に通信し、上記コントローラからのデジタル制御信号に応じてアナログ出力信号を生成するデジタル・アナログ変換器 (DAC) と、
c. 上記DACと電氣的に通信し、上記DACからの上記アナログ出力信号に応じて大電流範囲出力信号を生成する大電流ドライバと、
d. 上記大電流ドライバと電氣的に通信する大電流モニタであって、上記大電流ドライバによって生成される電流を制御するために、上記大電流モニタによってモニタリングされる電流に応じて上記大電流ドライバのための電流フィードバック信号を生成し、上記コントローラによるモニタリングのために上記大電流ドライバから生成された電流に依存する出力信号を供給する大電流モニタと、
e. 対電極と電氣的に通信し、上記大電流モニタと電氣的に通信して上記大電流モニタの出力信号を受信するように接続可能な対電極接点と、
f. 作用電極と電氣的に通信する作用電極接点であって、固定された安定な電位と電氣的に通信するように接続可能であり、上記対電極及び上記作用電極の間の材料の電気化学分析を可能にする作用電極接点とを備えた電気化学機器であって、

上記機器は、上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記大電流ドライバを切り換え可能に接続する大電流スイッチを含み、これにより、上記コントローラは、上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記大

10

20

電流ドライバを切り換え可能に接続及び切断するように上記大電流スイッチを制御する、電気化学機器。

【請求項 2】

上記大電流モニタは、第 1 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 1 の大電流範囲モニタリング回路と、第 2 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 2 の大電流範囲モニタリング回路とを含む、

請求項 1 記載の機器。

【請求項 3】

上記大電流モニタは、

第 1 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 1 の大電流範囲モニタリング回路と、

第 2 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 2 の大電流範囲モニタリング回路と、

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記第 1 の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第 1 の大電流モニタスイッチと、

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記第 2 の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第 2 の大電流モニタスイッチとを含む、

請求項 1 記載の機器。

【請求項 4】

基準電極と電氣的に通信し、上記材料と通信する上記作用電極及び上記対電極に対して位置決めするための基準電極接点と、

上記基準電極接点と電氣的に通信するバッファであって、上記基準電極接点における電圧を検出し、上記コントローラによるモニタリングのために上記基準電極接点からバッファリングされた上記基準電極接点における電圧に依存する出力信号を供給し、上記基準電極接点における電圧を制御するように上記大電流ドライバによって生成される出力信号を制御するために上記大電流ドライバのためのフィードバック信号を提供するバッファとを含む、

請求項 1 記載の機器。

【請求項 5】

上記コントローラと電氣的に通信するフィードバックアナログマルチプレクサであって、さらに、上記大電流モニタと電氣的に通信して上記大電流モニタから上記フィードバック信号を受信し、上記バッファと電氣的に通信して上記バッファから上記フィードバック信号を受信し、上記コントローラの制御下で、上記フィードバックアナログマルチプレクサによって上記フィードバック信号のうちのどちらが上記大電流ドライバに対して出力されるのかを切り換え可能に選択するフィードバックアナログマルチプレクサを含む、

請求項 4 記載の機器。

【請求項 6】

上記コントローラは、大電流モードで動作する場合、上記大電流モニタからのフィードバック信号を上記大電流ドライバに供給し、電圧モードで動作する場合、上記バッファからのフィードバック信号を上記大電流ドライバに供給するように上記フィードバックアナログマルチプレクサを制御する、

請求項 5 記載の機器。

【請求項 7】

上記大電流モニタは、第 1 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 1 の大電流範囲モニタリング回路と、第 2 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 2 の大電流範囲モニタリング回路とを含み、

上記第 1 の大電流範囲モニタリング回路は、上記フィードバックアナログマルチプレクサのための第 1 の大電流フィードバック信号を提供し、

上記第 2 の大電流範囲モニタリング回路は、上記フィードバックアナログマルチプレクサのための第 2 の大電流フィードバック信号を提供し、

10

20

30

40

50

上記フィードバックアナログマルチプレクサは、上記コントローラの制御下で、上記第1の大電流範囲で動作する場合、上記第1の大電流範囲モニタリング回路からの上記第1の大電流フィードバック信号を上記大電流ドライバに対して選択的に供給し、上記第2の大電流範囲で動作する場合、上記第2の大電流範囲モニタリング回路からの上記第2の大電流フィードバック信号を上記大電流ドライバに対して選択的に供給する、請求項5記載の機器。

【請求項8】

上記第1の大電流範囲モニタリング回路は、上記大電流ドライバ及び上記対電極接点の間に直列に接続された第1のセンス抵抗と、上記第1のセンス抵抗の両端にわたって接続された第1の差動増幅器であって、上記第1のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して上記第1の大電流フィードバック信号を生成する第1の差動増幅器とを含み、

10

上記第2の大電流範囲モニタリング回路は、上記大電流ドライバ及び上記対電極接点の間に直列に接続された第2のセンス抵抗と、上記第2のセンス抵抗の両端にわたって接続された第2の差動増幅器であって、上記第2のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して上記第2の大電流フィードバック信号を生成する第2の差動増幅器とを含む、

請求項7記載の機器。

【請求項9】

上記第1及び第2の差動増幅器は計装増幅器を含む、請求項8記載の機器。

20

【請求項10】

上記コントローラと電氣的に通信し、上記バッファ及び上記大電流モニタと電氣的に通信し、上記バッファ及び上記大電流モニタの出力信号を受信して、上記コントローラへの供給のためにデジタル信号へ変換するアナログ・デジタル変換器（ADC）を含む、請求項4記載の機器。

【請求項11】

- a. デジタル制御信号を生成するコントローラと、
- b. 上記コントローラと電氣的に通信し、上記コントローラからのデジタル制御信号に応じてアナログ出力信号を生成するデジタル・アナログ変換器（DAC）と、
- c. 上記DACと電氣的に通信し、上記DACからの上記アナログ出力信号に応じて大電流範囲出力信号を生成する大電流ドライバと、
- d. 上記大電流ドライバと電氣的に通信する大電流モニタであって、上記大電流ドライバによって生成される電流を制御するために、上記大電流モニタによってモニタリングされる電流に応じて上記大電流ドライバのためのフィードバック信号を生成し、上記大電流ドライバから供給された電流に依存する出力信号を供給する大電流モニタと、
- e. 対電極と電氣的に通信し、上記大電流モニタと電氣的に通信して上記大電流モニタの出力信号を受信するように接続可能な対電極接点と、

30

f. 作用電極と電氣的に通信する作用電極接点であって、固定された安定な電位と電氣的に接続可能であり、上記対電極及び上記作用電極の間の材料の電気化学分析を可能にする作用電極接点と、

40

g. 上記DACと電氣的に通信し、上記DACからの上記アナログ出力信号に応じて小電流範囲出力信号を生成する小電流ドライバと、

h. 上記作用電極接点と電氣的に通信するように接続可能な小電流モニタであって、上記作用電極接点における電流を検出し、上記コントローラによるモニタリングのために上記作用電極接点において検出された電流に依存する出力信号を供給し、上記対電極接点及び上記作用電極接点の間の電流を制御するように上記小電流ドライバの出力信号を制御するために上記小電流ドライバのためのフィードバック信号を提供する小電流モニタとを含み、

上記小電流モニタは、

50

i. 上記作用電極接点と電氣的に通信するように接続可能な入力端子を有し、出力端子を有するモニタ増幅器と、

i i. 上記モニタ増幅器の出力端子及び上記モニタ増幅器の入力端子の間に接続された複数のフィードバック抵抗からなるアレイと、

i i i. 上記コントローラと電氣的に通信し、上記モニタ増幅器の出力端子及び入力端子の間に電氣的に通信するアレイにおける上記フィードバック抵抗のうちの少なくとも1つを選択して上記モニタ増幅器の出力信号を制御するモニタアナログマルチプレクサとを含む、
電気化学機器。

【請求項12】

上記大電流モニタは、第1の大電流範囲における電流をモニタリングする第1の大電流範囲モニタリング回路と、第2の大電流範囲における電流をモニタリングする第2の大電流範囲モニタリング回路とを含む、

請求項11記載の機器。

【請求項13】

基準電極と電氣的に通信し、上記材料と通信する上記作用電極及び上記対電極に対して位置決めするための基準電極接点と、

上記基準電極接点と電氣的に通信するバッファであって、上記基準電極接点における電圧を検出し、上記コントローラによるモニタリングのために上記基準電極接点からバッファリングされた上記基準電極接点における電圧に依存する出力信号を供給し、上記基準電極接点における電圧を制御するように上記大電流ドライバによって生成される出力信号を制御するために、又は、上記基準電極接点における電圧を制御するように上記小電流ドライバによって生成される出力信号を制御するために、上記大電流ドライバ又は上記小電流ドライバにフィードバック信号を選択的に提供するバッファとを含む、

請求項11記載の機器。

【請求項14】

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記大電流ドライバを切り換え可能に接続する大電流スイッチと、

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記小電流ドライバを切り換え可能に接続する小電流スイッチとを含み、

これにより、上記対電極接点と電氣的に通信するように上記大電流スイッチが上記大電流ドライバを電氣的に接続するとき、上記小電流ドライバが上記対電極接点と電氣的に通信しないように上記コントローラが上記小電流スイッチを切り換えさせるように、上記コントローラは上記大電流スイッチ及び上記小電流スイッチを制御する、

請求項13記載の機器。

【請求項15】

上記大電流モニタは、第1の大電流範囲における電流をモニタリングする第1の大電流範囲モニタリング回路と、第2の大電流範囲における電流をモニタリングする第2の大電流範囲モニタリング回路とを含み、

上記大電流スイッチは、

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記第1の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第1の大電流モニタスイッチと、

上記対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記第2の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第2の大電流モニタスイッチとを含む、

請求項14記載の機器。

【請求項16】

上記コントローラの制御下で、一方の大電流モニタスイッチがオンされたとき、他方の大電流モニタスイッチがオフされるように、かつ、上記大電流モニタスイッチのうちの少なくとも1つがオンされたとき、上記小電流スイッチがオフされるように、上記コントローラは、上記第1及び第2の大電流モニタスイッチと電氣的に通信する、

請求項 1 5 記載の機器。

【請求項 1 7】

上記対電極接点と電氣的に通信するように上記大電流ドライバが上記大電流スイッチによって切り換えられている場合、上記コントローラの制御下で、接地と電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記作用電極接点を電氣的に接続する接地スイッチを含む、

請求項 1 4 記載の機器。

【請求項 1 8】

上記コントローラの制御下で、上記小電流モニタと電氣的に通信するように、及び通信しないように、上記作用電極接点を切り換え可能に接続する小電流モニタスイッチを含み、

10

上記対電極接点と電氣的に通信するように上記小電流ドライバを接続するように上記小電流スイッチが動作する場合、上記小電流モニタスイッチは、上記小電流モニタと電氣的に通信するように上記作用電極を電氣的に接続する、

請求項 1 4 記載の機器。

【請求項 1 9】

上記コントローラと電氣的に通信するフィードバックアナログマルチプレクサであって、さらに、上記大電流モニタと電氣的に通信して上記大電流モニタから上記フィードバック信号を受信し、上記バッファと電氣的に通信して上記バッファから上記フィードバック信号を受信し、上記小電流モニタと電氣的に通信して上記小電流モニタから上記フィードバック信号を受信し、上記コントローラの制御下で、上記フィードバックアナログマルチプレクサによって上記フィードバック信号のうちのどれが出力されるのかを切り換え可能に選択するフィードバックアナログマルチプレクサを含む、

20

請求項 1 3 記載の機器。

【請求項 2 0】

上記コントローラは、大電流モードで動作する場合、上記大電流モニタからのフィードバック信号を上記大電流ドライバに供給し、小電流モードで動作する場合、上記小電流モニタからのフィードバック信号を上記小電流ドライバに供給し、電圧モードで動作する場合、上記バッファからのフィードバック信号を上記大電流ドライバ及び上記小電流ドライバのうちの少なくとも一方に供給するように上記フィードバックアナログマルチプレクサを制御する、

30

請求項 1 9 記載の機器。

【請求項 2 1】

上記大電流モニタは、第 1 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 1 の大電流範囲モニタリング回路と、第 2 の大電流範囲における電流をモニタリングする第 2 の大電流範囲モニタリング回路とを含み、

上記第 1 の大電流範囲モニタリング回路は、上記フィードバックアナログマルチプレクサのための第 1 の大電流フィードバック信号を提供し、

上記第 2 の大電流範囲モニタリング回路は、上記フィードバックアナログマルチプレクサのための第 2 の大電流フィードバック信号を供給し、

40

大電流モードで動作する場合、上記フィードバックアナログマルチプレクサは、上記コントローラの制御下で、上記第 1 の大電流範囲で動作する場合、上記第 1 の大電流範囲モニタリング回路からの上記第 1 の大電流フィードバック信号を上記大電流ドライバに対して選択的に供給し、上記第 2 の大電流範囲で動作する場合、上記第 2 の大電流範囲モニタリング回路からの上記第 2 の大電流フィードバック信号を上記大電流ドライバに対して選択的に供給する、

請求項 1 9 記載の機器。

【請求項 2 2】

上記第 1 の大電流範囲モニタリング回路は、上記大電流ドライバ及び上記対電極接点の間に直列に接続された第 1 のセンス抵抗と、上記第 1 のセンス抵抗の両端にわたって接続

50

された第1の計装増幅器であって、上記第1のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第1の大電流フィードバック信号を提供する第1の計装増幅器とを含み、

上記第2の大電流範囲モニタリング回路は、上記大電流ドライバ及び上記対電極接点の間に直列に接続された第2のセンス抵抗と、上記第2のセンス抵抗の両端にわたって接続された第2の計装増幅器であって、上記第2のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第2の大電流フィードバック信号を提供する第2の計装増幅器とを含む、請求項2-1記載の機器。

【請求項2-3】

上記コントローラと電氣的に通信し、上記小電流モニタ、上記バッファ、及び上記大電流モニタと電氣的に通信し、上記小電流モニタ、上記バッファ、及び上記大電流モニタの出力信号を受信して、上記コントローラへの供給のためにデジタル信号へ変換するアナログ・デジタル変換器（ADC）を含む、請求項1-3記載の機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、電気化学分析のための電気化学機器に関し、より詳しくは、ポテンシostat（定電位電解装置）／ガルバノスタットに関する。

【背景技術】

【0002】

電気化学分析、電解合成、センシング、生成、及び関連する分野において、一般的に、ポテンシostat及びガルバノスタットは使用される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

研究、教育、生成、センシング、及び他の用途のために、高精度であり、低コストであり、また、複数の機能（例えば、いくつかの機能を挙げると、周期的及びリニア走査のボルタンメトリ（voltammetry）、様々なパルスボルタンメトリ法、及びACボルタンメトリ、電気化学、インピーダンス測定、クロノクーロメトリ（chronocoulometry））を有することは、ポテンシostat／ガルバノスタットの望ましい特性である。

【0004】

従って、電気化学機器が、ポテンシostat及びガルバノスタット機能の両方に対して、高速性能を可能にする実質的なデジタルインターフェースを提供することに加えて、広範囲の電流を提供する能力を有することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によれば、材料の電気化学分析を行うための電気化学機器が提供される。電気化学機器は、機器の対電極（counter electrode）及び作用電極（working electrode）の間に位置した材料の電気化学分析を行うポテンシostat／ガルバノスタットの形態を有していてもよい。電気化学機器は、機器の回路の動作を制御するために、マイクロコントローラ等のコントローラを備えてもよい。コントローラは、コンピュータプログラムに従って、また、様々なパラメータもしくは選択されたパラメータ又は動作モードを提供するユーザからの様々な入力に従って動作するように機能してもよい。コントローラは所望のデジタル制御信号を生成する。コントローラと電氣的に通信し、コントローラからのデジタル制御信号に応じてアナログ出力信号を生成するデジタル・アナログ変換器（DAC）が設けられてもよい。DACと電氣的に通信し、DACからのアナログ出力信号に応じて大電流範囲出力を生成する大電流ドライバが設けられてもよい。例えば、大電流ドライバは、1 mA（ミリアンペア）のおよそ数分の1又は1 mAからおよそ数mAまでの範囲で大電流範囲出力を生成してもよい。特定のオプションの例示として、大電流ドライバは、約0.25 mAから約2.5 Aの範囲で電流を生成してもよい。大電流ドライバと

10

20

30

40

50

電氣的に通信し、大電流ドライバからの大電流範囲出力をモニタリングする大電流モニタが設けられてもよい。大電流モニタは、大電流ドライバによって生成される電流を制御するために、大電流モニタによってモニタリングされる電流に応じて大電流ドライバのための電流フィードバック信号を生成してもよい。大電流モニタは、コントローラによるモニタリングのために大電流ドライバから供給された電流に依存する出力を供給してもよい。大電流モニタは、選択された材料の分析を行うために、作用出力において作用出力信号を供給してもよい。この目的のために、対電極と電氣的に通信し、大電流モニタの作用出力と電氣的に通信するように接続可能な対電極接点が設けられてもよい。作用電極と電氣的に通信する作用電極が設けられてもよく、作用電極は、固定された安定な電位（例えば接地又は仮想接地）と電氣的に接続可能であり、対電極及び作用電極における材料の、又は対電極及び作用電極の間の材料の電気化学分析を可能にしてもよい。例えば、大電流モニタからの選択された作用出力信号は、分析中又はテスト中の材料における対電極又は当該材料を通る対電極から、作用電極に向けて印加されてもよい。

10

【0006】

オプションで、DACと電氣的に通信し、DACからのアナログ出力信号に応じて小電流範囲出力を生成する小電流ドライバが設けられてもよい。例えば、小電流範囲出力は、およそ数nA（ナノアンペア）から、場合によっては数pA（ピコアンペア）から、およそ1mA又はその数分の1までの範囲にあってもよい。特定のオプションの例示として、小電流ドライバは、およそ2.5nAから0.25mAの範囲で電流を生成してもよい。小電流ドライバによって小電流範囲出力が対電極に供給されてもよいように、小電流ドライバが対電極接点と電氣的に通信してもよい。小電流モニタは、作用電極接点における電流を検出するために、作用電極接点と電氣的に通信するように接続可能であってもよい。小電流動作モードでは、小電流ドライバからの小電流範囲出力は、分析中又はテスト中の材料を通る対電極又は当該材料における対電極から、作用電極に向けて供給されてもよい。作用電極と電氣的に通信する小電流モニタは、コントローラによるモニタリングのために、作用電極接点において検出された電流に依存する出力を供給してもよい。小電流モニタは、対電極接点及び作用電極接点の間の電流を制御するように小電流ドライバの出力を制御するために小電流ドライバのためのフィードバック信号を提供してもよい。オプションで、小電流モニタは、作用電極接点と電氣的に通信するように接続可能な増幅器入力を有し、増幅器出力を有するモニタ増幅器を含んでもよい。小電流モニタは、モニタ増幅器の出力及びモニタ増幅器の入力の間に接続された複数のフィードバック抵抗からなるアレイを含んでもよい。小電流モニタは、コントローラと電氣的に通信し、モニタ増幅器の出力及び入力の間で電氣的に通信するアレイにおけるフィードバック抵抗のうちの少なくとも1つを選択してモニタ増幅器の出力を制御するモニタマルチプレクサ、例えばアナログマルチプレクサを含んでもよい。

20

30

【0007】

オプションで、大電流モニタは、第1の大電流範囲における電流をモニタリングする第1の大電流範囲モニタリング回路と、第2の大電流範囲における電流をモニタリングする第2の大電流モニタリング回路とを含んでもよい。オプションの例示として、第1の大電流モニタリング回路は、およそ数mAからおよそ1Aの範囲で動作してもよく、第2の大電流モニタリング回路は、1mAのおよそ数分の1からおよそ数mAの範囲で動作してもよい。より特定のオプションの例示として、大電流モニタリング回路は、およそ25mAから2.5Aの範囲で動作してもよく、第2の大電流モニタリング回路は、およそ0.25mAから25mAの範囲で動作してもよい。当然、2つの範囲は、共通の終端において正確に重複する必要はなく、そのような共通の終端は異なる大きさに変更することができる。

40

【0008】

機器は、基準電極と電氣的に通信し、材料と通信する作用電極及び対電極に対して位置決めするための基準電極接点と、基準電極接点と電氣的に通信し、基準電極接点における電圧を検出するバッファとを含んでもよい。バッファは、コントローラによるモニタリン

50

グのために基準電極接点からバッファリングされた基準電極接点において検出された電圧に依存する出力を供給してもよい。バッファは、基準電極接点における電圧を制御するために、大電流又は大電力動作モードにおいて電圧モードで動作する場合、大電流ドライバによって生成される出力を制御するために、大電流ドライバにフィードバック信号を選択的に提供してもよい。バッファは、小電流又は小電力動作モードにおいて電圧モードで動作する場合、基準電極接点における電圧を制御するように小電流ドライバによって生成される出力を制御するために、バッファから小電流ドライバにフィードバック信号を提供してもよい。大電流ドライバ及び小電流ドライバの両方を有するそのようなオプションの装置を収容するために、機器は、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、大電流ドライバを切り換え可能に接続する大電流スイッチと、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、小電流ドライバを切り換え可能に接続する小電流スイッチとを含んでもよい。コントローラは、大電流ドライバ及び小電流ドライバのいずれか又は両方からの出力をイネーブル又はディセーブルにし、これにより、対電極接点に対してそれぞれ接続及び切断するある種の大電流スイッチ及び小電流スイッチをそれぞれ提供するように機能してもよい。対電極接点と電氣的に通信するように大電流スイッチが大電流ドライバを電氣的に接続するとき、小電流ドライバが対電極接点と電氣的に通信しないようにコントローラが小電流スイッチを切り換えさせるように、コントローラは大電流スイッチ及び小電流スイッチを制御するように動作してもよい。同様に、対電極接点と電氣的に通信するように小電流スイッチが小電流ドライバを切り換える場合、大電流スイッチは、対電極接点と電氣的に通信しないように大電流ドライバを切断する。大電流モニタが第1の大電流モニタリング回路及び第2の大電流モニタリング回路の両方を含むオプションの装置では、大電流スイッチは、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、第1の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第1の大電流モニタスイッチと、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、第2の大電流モニタリング回路を電氣的に接続する第2の大電流モニタスイッチとを含んでもよい。動作時には、コントローラの制御下で、一方の大電流モニタリングスイッチがオンされたとき、他方の大電流モニタリングスイッチがオフされるように、かつ、大電流モニタリングスイッチのうちの少なくとも1つがオンされたとき、小電流スイッチがオフされるように、コントローラは、第1及び第2の大電流モニタリングスイッチと電氣的に通信してもよい。

【0009】

機器は、コントローラの制御下で、接地又は仮想接地のような固定された安定な電位と電氣的に通信するように、及び通信しないように、作用電極接点を電氣的に接続する接地スイッチを含んでもよい。大電力又は大電流動作モードで動作する場合のように、対電極接点と電氣的に通信するように大電流ドライバが大電流スイッチによって切り換えられている場合、コントローラは、作用電極接点を接地に接続するように接地スイッチを制御してもよい。

【0010】

機器は、コントローラの制御下で、小電流モニタと電氣的に通信するように、及び通信しないように、作用電極接点を切り換え可能に接続する小電流モニタスイッチを含んでもよい。小電力又は小電流動作モードでは、小電流モニタスイッチは、小電流モニタと電氣的に通信するように作用電極接点を電氣的に接続し、小電流スイッチは、対電極接点と電氣的に通信するように小電流ドライバを接続するように動作する。大電力又は大電流動作モードでは、小電流モニタスイッチは、小電流モニタと電氣的に通信しないように作用電極接点を電氣的に切断するように機能してもよく、小電流スイッチは、対電極接点と電氣的に通信しないように小電流ドライバを切断するように機能してもよい。

【0011】

次に、機器は、コントローラと電氣的に通信するフィードバックマルチプレクサ、例えばアナログマルチプレクサであって、さらに、大電流モニタと電氣的に通信して大電流モニタからフィードバック信号を受信し、バッファと電氣的に通信してバッファからフィー

ドバック信号を受信し、小電流モニタと電氣的に通信して小電流モニタからフィードバック信号を受信し、コントローラの制御下で、フィードバックマルチプレクサによってフィードバック信号又はそれに依存する信号のうちのどれが出力されるのかを切り換え可能に選択するフィードバックマルチプレクサを含んでもよい。この点に関して、コントローラは、大電流モードで動作する場合、大電流モニタからのフィードバック信号を大電流ドライバに供給し、小電流モードで動作する場合、小電流モニタからのフィードバック信号を小電流ドライバに供給し、電圧モードで動作する場合、バッファからのフィードバック信号を大電流ドライバ及び小電流ドライバのうちの少なくとも一方に供給するようにフィードバックマルチプレクサを制御するように動作してもよい。例えば、フィードバックマルチプレクサは、大電力動作モードにおいて電圧モードで動作する場合、バッファからのフィードバック信号を大電流ドライバに供給し、小電力動作モードにおいて電圧モードで動作する場合、バッファからのフィードバック信号を小電流ドライバに供給してもよい。オプションで、第1の大電流範囲モニタリング回路は、フィードバックマルチプレクサのための第1の大電流フィードバック信号を提供してもよく、第2の大電流モニタリング回路は、フィードバックマルチプレクサのための第2の大電流フィードバック信号を供給してもよい。大電流モードで動作する場合、マルチプレクサは、コントローラの制御下で、第1の大電流範囲で動作する場合、第1の大電流範囲モニタリング回路からの第1の大電流フィードバック信号を大電流ドライバに対して選択的に供給してもよく、第2の大電流範囲で動作する場合、第2の大電流範囲モニタリング回路からの第2の大電流フィードバック信号を大電流ドライバに対して選択的に供給してもよい。第1の大電流範囲モニタリング回路は、大電流ドライバ及び対電極接点の間に直列に接続された第1のセンス抵抗と、第1のセンス抵抗の両端にわたって接続された第1の差動増幅器、例えば計装増幅器であって、第1のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第1の大電流フィードバック信号を提供する第1の差動増幅器とを含んでもよい。同様に、第2の大電流範囲モニタリング回路は、大電流ドライバ及び対電極接点の間に直列に接続された第2のセンス抵抗と、第2のセンス抵抗の両端にわたって接続された第2の差動増幅器、例えば計装増幅器であって、第2のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第2の大電流フィードバック信号を提供する第2の差動増幅器とを含んでもよい。好ましくは、第1及び第2のセンス抵抗は、並列回路として接続され、異なる大きさの抵抗値、オプションで 10^2 倍の大きさの差、例えば、0.1及び10オームの差を有する抵抗値を有する。

【0012】

機器は、小電流モニタ、バッファ、及び大電流モニタの出力と電氣的に通信し、小電流モニタ、バッファ、及び大電流モニタの出力信号を、コントローラへの供給のためにデジタル信号へ変換するアナログ・デジタル変換器（ADC）を含んでもよい。

【0013】

オプションの装置において、バッファは、対電極接点と電氣的に通信し、対電極接点における電圧を検出し、コントローラとの電氣的な通信のために対電極接点における電圧を示すバッファリングされた出力を供給してもよい。

【0014】

大電流／大電力

本発明によれば、選択された材料の電気化学分析を行うための電気化学機器が、大電力又は大電流動作モードで動作するように構成、調整、又は設定され、このため、選択された電気信号を対電極及び作用電極の間に位置した材料へ提供するポテンシostat及び／又はガルバノstatの構成を有してもよい。大電力又は大電流動作モードのために構成される場合、電気化学機器は、デジタル制御信号を提供するコントローラと、コントローラと電氣的に通信し、コントローラからのデジタル制御信号に応じてアナログ出力信号を生成するデジタル・アナログ変換器（DAC）とを含んでもよい。大電流ドライバは、DACと電氣的に通信し、DACからのアナログ出力信号に応じて大電流範囲出力を生成してもよい。例えば、大電流範囲出力は、前述の範囲にあってもよい。大電流ドラ

イバと電氣的に通信し、大電流ドライバからの電流出力をモニタリングするために大電流モニタが使用されてもよい。大電流モニタは、大電流ドライバによって生成される電流を制御するために、大電流モニタによってモニタリングされる電流に応じて大電流ドライバのための電流フィードバック信号を生成してもよい。大電流モニタは、コントローラによるモニタリングのために大電流ドライバによって生成された電流に依存する出力を供給してもよい。大電流モニタは、テスト対象又は分析対象の材料のような材料に適用するために、作用出力において作用出力信号を供給してもよい。この目的のために、対電極と電氣的に通信する対電極接点は、大電流モニタの作用出力と電氣的に通信するように接続可能である。対電極及び作用電極における材料の、又は対電極及び作用電極の間の材料の電気化学分析を可能にするために、作用電極と電氣的に通信する作用電極が、例えば接地又は仮想接地のような、固定された安定な電位と電氣的に接続されてもよい。オプションで、大電流モニタは、第1の大電流範囲における電流をモニタリングする第1の大電流範囲モニタリング回路と、第2の大電流範囲における電流をモニタリングする第2の大電流モニタリング回路とを含んでもよい。例えば、第1及び第2の大電流範囲は、前述の範囲であってもよい。大電流モニタは、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、第1の大電流範囲モニタリング回路を電氣的に接続する第1の大電流モニタスイッチと、対電極接点と電氣的に通信するように、及び通信しないように、第2の大電流モニタリング回路を電氣的に接続する第2の大電流モニタスイッチとを含み、第1及び第2の大電流モニタリングスイッチは、オプションで、第1及び第2の大電流モニタリングスイッチと電氣的に通信してもよいコントローラの制御下で動作する。

10

20

【0015】

機器は、基準電極と電氣的に通信し、材料と通信する作用電極及び対電極に対して位置決めするための基準電極接点を含んでもよい。基準電極接点と電氣的に通信するバッファであって、基準電極接点における電圧を検出し、コントローラによるモニタリングのために基準電極接点からバッファされる基準電極接点における電圧に依存する出力を供給するバッファが提供されてもよい。バッファは、基準電極接点における電圧を制御するように大電流ドライバによって生成される出力を制御するために、大電流ドライバのためのフィードバック信号を提供してもよい。

【0016】

機器は、コントローラと電氣的に通信するフィードバックマルチプレクサ、オプションでアナログマルチプレクサの形態を有するものであって、さらに、大電流モニタと電氣的に通信して大電流モニタからフィードバック信号を受信し、かつ、バッファと電氣的に通信してバッファからフィードバック信号を受信し、コントローラの制御下で、フィードバックマルチプレクサによってフィードバック信号又はそれに依存する信号のうちのどちらが大電流ドライバに対して出力されるのかを切り換え可能に選択するフィードバックマルチプレクサを含んでもよい。電流モードにおいて、コントローラは、大電流ドライバのフィードバックのために大電流モニタからフィードバック信号を出力するようにフィードバックマルチプレクサを切り換える。電圧モードにおいて、コントローラは、大電流ドライバのフィードバックのためにバッファからフィードバック信号を出力するようにフィードバックマルチプレクサを切り換える。オプションで、第1の大電流範囲モニタリング回路は、フィードバックマルチプレクサのための第1の大電流フィードバック信号を提供してもよく、第2の大電流範囲モニタリング回路は、フィードバックマルチプレクサのための第2の大電流フィードバック信号を提供してもよい。フィードバックマルチプレクサは、コントローラの制御下で、第1の大電流範囲で動作する場合、第1の大電流範囲モニタリング回路からの第1の大電流フィードバック信号又はそれに依存する信号を大電流ドライバに対して選択的に供給し、第2の大電流範囲で動作する場合、第2の大電流範囲モニタリング回路からの第2の大電流フィードバック信号又はそれに依存する信号を大電流ドライバに対して選択的に供給するように動作してもよい。

30

40

【0017】

オプションで、第1の大電流範囲モニタリング回路は、大電流ドライバ及び対電極接点

50

の間に直列に接続された第1のセンス抵抗と、第1のセンス抵抗の両端にわたって接続された第1の差動増幅器、例えば計装増幅器であって、第1のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第1の大電流フィードバック信号とコントローラによるモニタリングのための出力とを生成する第1の差動増幅器とを含んでもよい。同様に、第2の大電流範囲モニタリング回路は、大電流ドライバ及び対電極接点の間に直列に接続された第2のセンス抵抗と、第2のセンス抵抗の両端にわたって接続された第2の差動増幅器、例えば計装増幅器であって、第2のセンス抵抗に流れる電流によって生じた電圧を検出して第2の大電流フィードバック信号とコントローラによるモニタリングのための出力とを生成する第2の差動増幅器とを含んでもよい。好ましくは、第1及び第2のセンス抵抗は、並列回路として接続され、異なる大きさの抵抗値、オプションで 10^2 倍の大きさの差、例えば、0.1及び10オームの差を有する抵抗値を有する。

10

【0018】

機器は、コントローラと電氣的に通信し、バッファ及び大電流モニタの出力と電氣的に通信し、バッファ及び大電流モニタの出力信号を、コントローラのためのデジタル信号へ変換するアナログ・デジタル変換器（ADC）を含んでもよい。

【0019】

オプションで、バッファは、対電極接点と電氣的に通信するように接続可能であり、対電極接点における電圧を検出し、コントローラとの電氣的な通信のために対電極接点における電圧を表すバッファリングされた出力を供給してもよい。

【0020】

20

小電流／小電力

本発明によれば、電気機械機器は、例えば、小電流又は小電力動作モードにおけるポテンショスタット又はガルバノスタットとして動作するように構成、調整、又は設定されてもよい。そのように構成された場合、機器は、デジタル制御信号を提供するコントローラと、コントローラと電氣的に通信し、コントローラからのデジタル制御信号に応じてアナログ出力信号を生成するデジタル・アナログ変換器（DAC）とを含んでもよい。小電流ドライバは、DACと電氣的に通信し、DACからのアナログ出力信号に応じて小電流範囲出力を生成するように配置されてもよい。例えば、小電流範囲は、前述の範囲にあってもよい。対電極と電氣的に通信し、小電流ドライバの出力と電氣的に通信する対電極接点が設けられてもよい。作用電極と電氣的に通信する作用電極接点であって、対電極及び作用電極の間の材料の電気化学分析を可能にする作用電極接点を提供されてもよい。動作時には、小電流ドライバからの電流は、分析対象又はテスト対象の材料における対電極又は当該材料を通る対電極から、作用電極に向けて供給されてもよい。

30

【0021】

機器は、作用電極と電氣的に通信するように接続可能な小電流モニタであって、作用電極接点における電流を検出し、コントローラによるモニタリングのために、作用電極接点において検出された電流に依存する出力を供給する小電流モニタを含んでもよい。小電流モニタは、対電極接点及び作用電極接点の間の電流を制御するように小電流ドライバの出力を制御するために小電流ドライバのためのフィードバック信号を提供してもよい。小電流モニタは、オプションで、作用電極接点と電氣的に通信するように接続可能な入力を有し、出力を提供するモニタ増幅器、例えば電流フィードバック増幅器又はトランスインピーダンス増幅器を含んでもよい。小電流モニタは、モニタ増幅器の出力及びモニタ増幅器の入力の間に接続された複数のフィードバック抵抗からなるアレイであって、モニタ増幅器の出力及び入力との間のフィードバックループを提供するアレイを含んでもよい。小電流モニタは、コントローラと電氣的に通信し、モニタ増幅器の出力及び入力の間で電氣的に接続するアレイにおけるフィードバック抵抗のうちの少なくとも1つを選択してモニタ増幅器の出力を制御するモニタマルチプレクサ、例えばアナログマルチプレクサを含んでもよい。

40

【0022】

機器は、オプションで、基準電極と電氣的に通信し、材料と通信する作用電極及び対電

50

極に対して位置決めするための基準電極接点を含んでもよい。機器は、基準電極接点と電氣的に通信し、基準電極接点における電圧を検出するバッファを含んでもよい。バッファは、コントローラによるモニタリングのために基準電極接点からバッファリングされた基準電極接点における電圧に依存する出力を供給するように機能してもよい。バッファは、基準電極接点における電圧を制御するように小電流ドライバによって生成される出力を制御するために、小電流ドライバのためのフィードバック信号を提供してもよい。電圧モードの動作では、基準電極接点における電圧は、作用電極接点における電圧に関してモニタリングされてもよい。作用電極接点における電圧は、例えば仮想接地であってもよい。

【0023】

機器は、コントローラと電氣的に通信するフィードバックマルチプレクサ、例えばアナログマルチプレクサを含んでもよい。フィードバックマルチプレクサは、バッファと電氣的に通信してバッファからフィードバック信号を受信し、小電流モニタと電氣的に通信して小電流モニタからフィードバック信号を受信し、コントローラの制御下で、フィードバックマルチプレクサに入力されるフィードバック信号又はそれに依存する信号のうちのどちらが小電流ドライバに対して出力されるのかを切り換え可能に選択してもよい。この点に関して、コントローラは、小電流モードで動作する場合、小電流モニタからのフィードバック信号を小電流ドライバに供給し、電圧モードで動作する場合、バッファからのフィードバック信号を小電流ドライバに供給するようにフィードバックアナログマルチプレクサを制御するように機能してもよい。

【0024】

機器は、コントローラと電氣的に通信し、小電流モニタ及びバッファの出力と電氣的に通信し、小電流モニタ及びバッファの出力を、コントローラによるモニタリングのためにコントローラへの供給のためにディジタル信号へ変換するアナログ・ディジタル変換器（ADC）を含んでもよい。

【0025】

オプションで、バッファは、対電極接点と電氣的に通信するように接続可能であり、対電極接点における電圧を検出し、コントローラとの電氣的な通信のために対電極接点における電圧を表すバッファリングされた出力を供給してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】ポテンショスタット／ガルバノスタット回路の上位ブロック図を概略的に示す図である。

【図2】図1のポテンショスタット／ガルバノスタット回路のための大電力又は大電流回路構成のブロック図を概略的に示す図である。

【図3】図1のポテンショスタット／ガルバノスタット回路のための小電力又は小電流回路構成のブロック図を概略的に示す図である。

【図4】図1～図3ではMCUによって概略的に示す、図1～図3のポテンショスタット／ガルバノスタット回路で使用されるマイクロコントローラ回路の回路図である。

【図5】図1～図3ではDACによって概略的に示す、ポテンショスタット／ガルバノスタット回路のためのDAC回路及びコンディショナ回路を用いたディジタル・アナログ回路（DAC）の回路図である。

【図6】図1～図3ではMUXによって概略的に示す、フィードバックマルチプレクサ回路の回路図である。

【図7】図1～図3に概略的に示す設定制御回路と、図1に示す大電流ドライバであって、図2で大電力演算増幅器HP OPAとしてより具体的に示す素子との回路図である。

【図8】図1に示す大電流モニタであって、図2でセンス抵抗Rs1及びRs2ならびに計装増幅器INA1及びINA2としてより具体的に示す素子の回路図である。

【図9】図1に示す小電流ドライバ及び関連付けられたスイッチSW-5であって、図3で小電力演算増幅器LP OPA及びスイッチSW-5としてより詳細に示す素子の回路図である。

10

20

30

40

50

【図10】図1に示す小電流モニタであって、図3でトランスインピーダンス増幅器TIA、-10利得増幅器、及びモニタマルチプレクサMUX2及び関連付けられた抵抗アレイとしてより具体的に示す素子の回路図である。

【図11】図1～図3に示すバッファ回路及び対電極接点CNT及び基準電極接点REFの回路図である。

【図12】図1に示す作用電極接点WKG及び関連付けられたスイッチSW-3及びSW-4であって、図2で作用電極接点WKG及びスイッチSW-3としてより詳細に示し、図3で作用電極接点WKG及びスイッチSW-4としてより詳細に示す素子の回路図である。

【図13】図1に示すADC回路に組み込まれるアナログ・デジタル変換器回路ADC-LC及び関連付けられたコンディショナ回路であって、図3でADC-LC回路及びコンディショナ回路としてより具体的に示す回路の回路図である。

10

【図14】図2に示すアナログ・デジタル変換器回路ADC-HC1及び関連付けられたコンディショナ回路であって、図1に示すADC回路に組み込まれた回路の回路図である。

【図15】図2に示すアナログ・デジタル変換器回路ADC-HC2及び関連付けられたコンディショナ回路であって、図1に示すADC回路に組み込まれた回路の回路図である。

【図16】図2及び図3に示すアナログ・デジタル変換器回路ADC-V及び関連付けられたコンディショナ回路であって、図1に示すADC回路に組み込まれた回路の回路図である。

20

【図17】図4～図23に示す回路のための1.25ボルトの基準電圧1V25及び2.5ボルトの基準電圧2V50を生成する基準電圧回路の回路図である。

【図18】図1～図4に示すコントローラMCUのためのメモリ及びプログラムメモリを提供する、消去及びプログラミング可能なメモリチップEEP(EPROM)及び関連付けられた回路の回路図である。

【図19】図1～図4に示すコントローラMCUの通信ポートの回路図である。

【図20】図4～図23に示す回路に+1.5ボルト及び-1.5ボルトのフィルタリングされた電源電圧を提供する電圧フィルタ回路の回路図である。

【図21】図4～図23に示す回路に5ボルト及び3.3ボルトの出力を提供するための電源回路の回路図である。

30

【図22】図1～図23に概略的に示す回路を有する機器を冷却するファンを動作させるファン回路の回路図である。

【図23】図1のバッファに組み込まれ、図1に示す対電極接点CNT及びコントローラMCUの間の電氣的な通信及びバッファリングを可能にするオプションのバッファ回路の回路図である。

【図24】図1～図3に概略的に示し、図4～図23により具体的には示す回路を有する機器の動作プログラムステップを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

40

前述した発明の概要及び後述する発明を実施するための形態の詳細な説明は、添付された図面と共に読んだとき、さらに理解される。同様の構成要素には、図面全体にわたって同様の番号が付与される。

【0028】

各図面、まずは図1を参照すると、容器35に配置された材料の電気化学特性の分析及びテストのための、概して30により示す電気化学機器が図示される。ここで、対電極接点CNTに電氣的に接続された対電極と、作用電極接点WKGに電氣的に接続された作用電極とを介して、所望の電気信号が材料に印加可能になるように、材料は対電極と作用電極との間に設けられる。概して、機器は、対電極から作用電極へ流れる電流がモニタリングされるように、所望の大きさ、波形、及び継続時間を有する選択された電流及び／又は

50

電圧信号を、レセプタクル 35 内の材料へ印加するように機能してもよい。基準電極は、容器 35 において対電極及び作用電極の間に位置して基準電極及び作用電極の間の電圧をモニタリングすることを可能にするように、基準電極接点 R E F に接続されてもよい。動作において、電気化学機器は、基準電極接点 R E F 及び作用電極接点 W K G の間の電圧を測定及びモニタリングすることによりポテンシオスタットとして機能してもよく、又は、対電極接点 C N T 及び作用電極接点 W K G の間の電流を測定及びモニタリングすることによりガルバノスタットとして機能してもよく、又は、ガルバノスタットとしての動作とポテンシオスタットとしての動作との間で機器が切り換えられてもよい、組み合わせたポテンシオスタット／ガルバノスタットとして機能してもよい。

【0029】

概して、機器 30 は、ポテンシオスタット／ガルバノスタット回路のすべての制御、設定、及びモニタリング機能を実行する、好ましくはマイクロコントローラ M C U として提供される、高速コントローラ 40 を含む。異なる複数の回路の協調動作によって、例えば数 n A（場合によっては数 p A）から数 A までの広い電流範囲が達成されてもよい。高精度及び高速を実現するために、高速かつ高分解能のアナログ・デジタル変換器 A D C 110 及びデジタル・アナログ変換器 D A C 50 が使用される。コンピュータ（例えば、P C、M a c、タブレット）、ネットワーク、スマートフォン、又は他の選択された装置又はシステムのような外部の制御装置と通信するために、R S 2 3 2 及び U S B（Universal Serial Bus）のようなシリアルインターフェース、G P I B のようなパラレルインターフェース、U A R T（universal asynchronous receiver/transmitter）のような有線又は無線インターフェースのような、U A R T／R S 2 3 2／U S B インターフェースのうちの 1 つ又は複数のような通信インターフェースが利用可能である。サイクリックボルタンメトリ（C V）、リニアスキャンボルタンメトリ（L S V）、様々なパルスボルタンメトリ技術（差動パルス（D P V）、ノーマルパルス（N P V）、差動ノーマルパルス（D N P V）、矩形波（S W V）、電気化学インピーダンス分光法（E I S）、及び交流ボルタンメトリ（A C V））を含むが、これらに限定されない、多数の電気化学技術のための機能も提供される。例えばユーザ入力又はソフトウェアアップグレードによって、新たな機能を追加することができる。

【0030】

全体的な概要として、図 1 を参照して、機器は、ユーザ入力に応答してプログラム命令を実行し、動作回路からの信号をモニタリングして回路の動作の制御のためのデジタル出力信号を生成するように機能する、好ましくはマイクロコントローラ装置 M C U の形態のコントローラ 40 を含む。機器 30 の動作回路がアナログ回路を含むので、機器 30 は、M C U 40 からデジタル信号に응答し、図 1 に示すような大電流ドライバ 70 又は小電流ドライバ 80 を駆動するために必要なアナログ電圧又は電流を生成する D A C、好ましくは高分解能及び高速の D A C を含む。機器 30 は、アナログ回路からの選択されたアナログ信号を、M C U 40 のためにデジタル信号に変換する A D C、好ましくは高速及び高分解能の A D C も含む。大電流動作モードにおいて、プログラム命令及び／又はユーザ入力によって提供されるように、D A C は、図 2 に示すように大電力演算増幅器 H P O P A 72 の正の入力を駆動し、一方、小電流動作モードにおいて、D A C 50 は、図 3 に示すように小電力演算増幅器 L P O P A 82 の正の入力を駆動する。D A C の出力は M C U によって制御され、D A C 50 の出力信号はバイポーラであり、正又は負になりうる。大電流モードが使用される場合、小電流 L P O P A の出力は高絶縁のアナログリレー S W - 5 によって阻止され、コントローラ 40 の制御下で一对のアナログリレー S W - 1 及び S W - 2 のうちの 1 つを起動することによって、2 つの大電流範囲のうちの 1 つが選択される。小電流モードが使用される場合、コントローラ 40 からの電力イネーブルライン P A E N に接続された大電流 O P A である H P O P A 72 のディセーブルピンによって、大電流出力がディセーブルにされる。各演算増幅器 H P O P A 72 又は L P O P A 82 の出力は、選択された信号を対電極接点 C N T へ印加するために作用出力を供給する。選択された動作モード（定電圧モード又は定電流モード、又は大電流又は大電力

10

20

30

40

50

モード又は小電流又は小電力モード)に依存するフィードバック信号が、各電力演算増幅器HP OPA72又はLP OPA82の負の入力に供給され、負帰還増幅器回路を形成する。

【0031】

アナログフィードバックマルチプレクサMUX100は、コントローラの制御下で、定電圧モード又は定電流モードを選択するために使用される。定電流モードにおいて、フィードバックMUX100は、自動的に電流範囲に基づくフィードバック信号を選択する。定電圧モードにおいて、フィードバックMUX100は、フィードバック信号として電圧基準信号を選択する。例えば、MUX100は、定電圧と、例えば第1の大電流範囲及び第2の大電流範囲を含む大電流範囲における定電流と、小電流範囲における定電流とを選択するように機能してもよい。

10

【0032】

小電流動作モードで動作する場合、小電流は、TIA回路(トランスインピーダンス増幅器回路)における図3に示すような複数の高精度抵抗からなるアレイ136によって自動的に選択される。TIA回路は、図1に示すような小電流モニタ回路130を含み、また、トランスインピーダンス増幅器TIA132、複数のフィードバック抵抗からなるアレイ136、モニタマルチプレクサMUX2134、及び図3に示す負利得増幅器138によって提供される。抵抗アレイ136のうちの適切な抵抗は、適切な小電流をさらに選択するようにMCU40からの出力によって制御されるMUX2134によって選択される。

20

【0033】

ここで、機器回路の全体的な動作及び構成のより詳細な説明のために、各図面、まずは図1を参照して、電気化学機器30は、装置に係る所望の制御、設定、モニタリング、及び通信機能のすべてを実行するために使用されるマイクロコントローラMCUの形態を有するコントローラ装置40を含む。通信インターフェース45は、コントローラMCUを外部装置、例えばコンピュータ(PC、MAC、又は他のタイプのコンピュータ装置)、ネットワーク、スマートフォン、又は他のタイプの外部装置と通信できるようにするために、コントローラMCUと電気的に接続されてもよい。通信インターフェース45は、例えば、UART(universal asynchronous receiver/transmitter)、USB(universal serial bus)、又は、シリアルRS232又はパラレルGPIBのような他の通信接続のうちの1つ又は複数を含んでもよい。コントローラMCU40は、シリアル周辺インターフェースバスの形態をしていてもよいインターフェースバス55を介して、デジタル・アナログ変換器回路DAC50、好ましくは高速及び高分解能の回路に電気的に接続される。図1に示すように、コントローラMCU40は、デジタル制御信号をDAC50に提供し、次いで、DAC50は、コントローラからのデジタル制御信号に応じて出力ラインVDACの上にアナログ出力信号を生成する。DACからのVDAC出力信号は設定制御回路60に供給され、設定制御回路60は、大電流ドライバ70及び小電流ドライバ80に信号を選択的に出力するように機能する。コントローラ40は、電力イネーブルラインPAENによって設定制御回路60にも接続され、設定制御回路60は、大電流モードで動作する場合、大電流ドライバをイネーブルにし、DACからのVDAC出力信号と設定制御回路60に供給された電力イネーブル信号PAENとに応じて電力出力信号PAOUTを生成するように機能する。大電流ドライバによる電力出力信号PAOUTの生成がイネーブルにされている場合、コントローラ40の制御下でスイッチSW-5が開かれ、小電流ドライバ80を切断する。代替として、コントローラ40が小電流ドライバ80から小電流出力を生成するように機能する場合、小電流モードで動作する場合、電力イネーブルラインPAENはイネーブルにされず、大電流ドライバが出力を提供することを防ぎ、また、スイッチSW-5が閉じられ、それによって小電流ドライバ80を接続する。設定制御回路60は、制御線CTRLを介して小電流ドライバ80へ信号を供給し、小電流ドライバを駆動して出力を生成する。大電流モニタ90は、PAOUTラインに沿った大電流ドライバの出力に接続され、PAOUTにおいて大電流ドライバによって生成さ

30

40

50

れた電流をモニタリングするように、かつ、P A O U Tラインにおいてモニタリングされている電流に応じて出力信号を生成するように機能する。オプションで、大電流モニタ 90 は、第 1 の範囲の大電流、例えば 2 5 m A ~ 2 . 5 A における電流をモニタリングする第 1 のモニタリング回路がスイッチ S W - 1 を介して接続され、かつ、第 2 の範囲の大電流、例えば 0 . 2 5 m A ~ 2 5 m A における電流をモニタリングする第 2 のモニタリング回路がスイッチ S W - 2 を介して接続されるように、異なる電流範囲の大電流をモニタリングするために別個のモニタリング回路を含んでもよい。スイッチ S W - 1 及びスイッチ S W - 2 は、図 1 に示すようにコントローラ装置 M C U 4 0 の制御下で動作し、これにより、作用出力電流は、電流の範囲に依存してスイッチ S W - 1 又は S W - 2 を選択的に經由して、大電流モニタリング回路 9 0 から対電極接点 C N T に供給される。大電流モニタはまた、大電流フィードバック信号を、I N A O U Tラインを介して、ディジタル制御されたアナログマルチプレクサ 1 0 0 の形態を有するフィードバックマルチプレクサ M U X 1 0 0 に供給する。大電流モニタ 9 0 はまた、出力信号を I N A O U Tラインの上でアナログ・ディジタル変換器 1 1 0、好ましくは高速及び高分解能の素子に供給するように機能し、アナログ・ディジタル変換器 1 1 0 は、例えばシリアル周辺インターフェースバスの形態を有するインターフェースバス 1 1 5 を介してコントローラ 4 0 に接続される。

【 0 0 3 4 】

図 1 に示すように、スイッチ S W - 1 及び S W - 2 は、大電流モニタ 9 0 の出力から、容器 3 5 で使用されている対電極と接続するための対電極接点 C N T に接続される。機器はまた、バッファ回路 1 2 0 を含み、バッファ回路 1 2 0 は基準電極接点 R E F に接続され、基準電極接点 R E F は容器 3 5 に位置した基準電極に接続される。基準電極は、典型的には、容器 3 5 において、対電極接点 C N T に接続された対電極と、作用電極接点 W K G に接続された作用電極との間に、これらの電極から離隔して位置する。基準電極接点 R E F は基準電極と電氣的に通信し、基準電極は、分析のために容器に配置された材料と通信する、容器における作用電極及び対電極に対して位置する。バッファは、基準電極接点と電氣的に通信し、基準電極接点における電圧を検出する。バッファは、コントローラによるモニタリングのために基準電極接点からバッファリングされた基準電極接点において検出された電圧に依存する出力 R E F O U T を供給するように機能してもよい。この目的のために、基準出力ライン R E F O U T は A D C 回路 1 1 0 に接続される。さらに、バッファは、フィードバック信号を R E F O U Tラインの上でフィードバックマルチプレクサ 1 0 0 へ提供し、大電流、電力、小電流、及び電力のうちのどれが使用されているかに依存して、大電流ドライバ 7 0 及び小電流ドライバ 6 0 のいずれかによって、電圧動作モードで生成される出力を制御する。オプションで、バッファ 1 2 0 は、別途、対電極接点 C N T にも接続され、対電極における電圧を検出してもよく、バッファリングされた出力信号 C N T O U T をオプションのアナログ・ディジタル変換器 1 2 5 に供給するように機能してもよい。オプションのアナログ・ディジタル変換器 1 2 5 は、C N T O U Tラインにおけるバッファからのアナログ信号を、コントローラ M C U 4 0 への供給のためにディジタル信号に変換し、対電極接点 C N T における電圧をコントローラにモニタリングさせることを可能にするように機能する。

【 0 0 3 5 】

図 1 に示すように、作用電極接点 W K G は、スイッチ S W - 3 を介して接地 G N D に接続され、スイッチ S W - 4 を介して小電流モニタ 1 3 0 に接続されてもよい。大電流モードで動作する場合、コントローラ 4 0 の制御下で、大電流モニタは、大電流範囲に依存してスイッチ S W - 1 及びスイッチ S W - 2 のいずれかを介して、対電極接点 C N T に接続され、作用電極接点 W K G はスイッチ S W - 3 を介して接地に接続され、スイッチ S W - 4 及び S W - 5 は開かれる。小電流モードで動作する場合、小電流ドライバ 8 0 はスイッチ S W - 5 を介して対電極接点 C N T に接続され、スイッチ S W - 1 及び S W - 2 は開かれ、設定制御回路 6 0 への電力イネーブルライン P A E N はディセーブルにされ、対電極接点 C N T から大電流ドライバを切断する。小電流モードではまた、コントローラ 4 0 の制御下で、スイッチ S W - 4 を閉じることで作用電極接点 W K G は小電流モニタ 1 3 0

に接続され、スイッチSW-3が開かれることで作用電極接点WKGを接地から切断する。作用電極接点WKGがスイッチSW-4を介して小電流モニタへ接続された場合、小電流ラインTIA INは小電流モニタに作用電極接点WKGを接続する。このため、小電流ドライバによって生成され、対電極接点CNTにおける対電極から作用電極接点WKGにおける作用電極へ容器35における材料を通過する小電流は、小電流モニタ130によってモニタリングされる。TIA INラインの上で作用電極接点WKGから供給される小電流が小電流モニタによってモニタリングされ、TIA INラインの上でモニタリングされている電流を反映する出力信号TIA OUTが生成される。小電流モニタ130からのTIA OUTラインは、フィードバックマルチプレクサ100へフィードバック信号を提供する。小電流モニタはまた、TIA INにおける入力電流に依存する出力信号を、インターフェースバス115を介するコントローラ40によるモニタリングのために、アナログ・デジタル変換器ADC110へ供給する。小電流モニタは、コントローラに小電流モニタを接続するMUX2ラインによりコントローラの制御下において、TIA INラインにおいて検出されている電流に対して小電流モニタを調節することを可能にする。アナログ・デジタル変換器ADC110は、小電流モニタ130からTIA OUTラインを介して供給されるアナログ信号、バッファ120からREF OUTラインを介して供給されるアナログ信号、及び大電流モニタ90からINA OUTラインを介して供給されるアナログ信号を、インターフェースバス115を介するコントローラ40との通信のためにデジタル信号に変換するように機能する。このため、機器30は、コントローラMCUの制御下で、スイッチSW-2、SW-4、及びSW-5を開きかつスイッチSW-1、SW-3を閉じる第1の大電流モードで、又は、スイッチSW-1、SW-4、及びSW-5を開きかつスイッチSW-2及びSW-3を閉じる第2の大電流モードで、又は、バッファ回路120により基準電極接点REFにおける電圧を検出する電圧モードで動作可能である。

【0036】

大電流モードで動作する場合、MUX100への入力として供給されたINA OUT信号が、大電流ドライバ70の出力を制御するフィードバック信号として、MUX OUTラインにおいて大電流ドライバ70に供給されるように、コントローラMCU40は、MUXライン又はバスを介してフィードバックマルチプレクサ100を制御することもできる。大電流ドライバが使用中であり、かつ、電圧モードが選択されている場合、バッファ120からのREF OUT信号をフィードバック信号としてMUX OUTラインを介して大電流ドライバ70に供給し、基準電極における電圧を制御するように、コントローラMCU40は、MUXライン又はバス上のフィードバックマルチプレクサ100を制御することができる。機器が小電流モードで動作させられる場合、MCU40からの電力イネーブル信号は、設定制御回路60に大電流ドライバ70をディセーブルにさせ、スイッチSW-5が閉じられて対電極接点CNTを小電流ドライバに接続する。コントローラ40は、スイッチSW-1及びSW-2を開かせるように機能してもよい。コントローラ40はまた、スイッチSW-3を開いて作用電極接点WKGを接地から切断し、スイッチSW-4を閉じて作用電極接点WKGに小電流モニタ120を接続するように機能し、小電流モニタ120は、TIA INラインにおける小電流をモニタリングするように機能する。TIA INラインにおける電流入力に応じて、小電流モードで動作する場合、小電流モニタ120はTIA OUTラインの上にフィードバック信号を生成し、フィードバック信号はフィードバックマルチプレクサ100に供給され、フィードバックマルチプレクサ100は、小電流モニタからのTIA OUTフィードバック信号をMUX OUTラインを介して小電流ドライバ80に供給するようにコントローラMCUによって制御される。小電流ドライバを使用中に電圧モードで動作する場合、REF OUTラインを介するバッファからのフィードバック信号がフィードバックマルチプレクサ100によって小電流ドライバ80に供給されるように、コントローラは、MUX OUTライン又はバスを介してフィードバックマルチプレクサMUX100を制御することができる。

【0037】

大電力／大電流

図2を参照すると、電気化学機器30は、大電流動作モード及び電圧動作モードを提供する大電力モードで使用される構成についてより詳細に図示される。図2に示すように、コントローラMCU40は、回路の動作を制御するように機能し、デジタル制御信号をインターフェースバス55を介して図1に示すようなデジタル・アナログ変換器回路50に供給する。デジタル・アナログ変換器回路50は、図2により具体的に示すように、コンディショナ回路54に接続されたDAC回路52を含む。DAC回路52は、コントローラMCU40からのデジタル信号をアナログ信号に変換するように機能し、このアナログ信号はコンディショナ回路54に供給され、コンディショナ回路54は、信号のレベルをバッファリングして調整し、図1に示す大電流ドライバ70を駆動する設定制御回路60に対して適切な出力を提供するように機能する。大電力モードで動作する場合、コントローラ40は、電力イネーブルラインPAENを介して設定制御回路60をイネーブルにし、コンディショナ回路54からの出力信号を大電力演算増幅器HP OPA70の入力に供給する。大電力演算増幅器HP OPA70は大電流ドライバとして機能してもよい。制御回路60は、HP OPAアンプ72の非反転入力又は＋ラインに接続される。HP OPAアンプ72の出力は、図1の大電流モニタ90への入力として、図2に示すように電力出力ラインPA OUTの上で供給され、大電流モニタ90は、図2に示すように、センス抵抗RS1 91及びRS2 92及び差動増幅器INA1 93及びINA2 94を含んでもよい。図2に示すように、大電力アンプHP OPA72の出力は、センス抵抗91及び92の並列回路によって対電極制御CNTに接続可能である。より具体的には、大電力アンプHP OPA72の出力は、対電極接点CNTに対して、スイッチSW-1によって第1のセンス抵抗RS1 91を介して、又はそれに代わって、スイッチSW-2によって第2のセンス抵抗RS2 92を介して、切り換え可能に接続することができる。第1の差動増幅器93は、回路が第1の大電流範囲で動作する場合にスイッチSW-1が閉じられる場合、第1のセンス抵抗91に流れる電流によって生じる電圧を検出するために、好ましくは高精度抵抗である第1のセンス抵抗91の両端にわたって接続される。回路が第2の大電流範囲で動作する場合、スイッチSW-1が開かれ、かつ、SW-2が閉じられ、これにより、大電力アンプHP OPA72によって生成された電流が、第2のセンス抵抗92を介して対電極接点CNTへ流れる。好ましくは高精度抵抗である第2のセンス抵抗92の両端にわたって接続された第2の差動増幅器94によって、第2のセンス抵抗RS2 92に流れる電流が検出され、第2のセンス抵抗RS2 92に流れる電流によって生じる電圧を検出する。このように、図2に示すように、第1の大電流範囲モニタリング回路は、第1の大電流電流範囲における電流をモニタリングするために、第1のセンス抵抗91及び第1の差動増幅器93を含む。同様に、第2の大電流範囲モニタリング回路は、第2の大電流電流範囲における電流をモニタリングするために、第2のセンス抵抗92及び第2の差動増幅器94を含む。第1の差動増幅器93は、計装増幅器INA1の形態を有してもよく、また、第2の差動増幅器94は、第2の計装増幅器INA2の形態を有してもよい。大電流モードにおいて、フィードバック信号を提供するために十分な信号強度を提供する固定利得を有する高精度INA増幅器によって、電流検出抵抗(RS1又はRS2)の電圧降下がサンプリングされる。図2に示すように、第1の差動増幅器93は、差動増幅器93の出力に接続されたINA-1 OUTラインの上に出力信号を生成し、この出力信号は、コンディショナ回路112に供給され、その後、コントローラMCU40と電氣的に通信するアナログ・デジタル変換器ADC回路ADC-HC2 111に供給され、これにより、コントローラは、第1の差動増幅器93の出力をモニタリングして、スイッチSW-1が閉じられている場合に第1のセンス抵抗91に流れる電流をモニタリングすることができる。差動増幅器93は、INA-1 OUTラインの上のフィードバック信号をフィードバックマルチプレクサMUX100にも供給する。同様に、第2の差動増幅器94は、コンディショナ回路114と、MCU40と電氣的に通信するADC回路ADC-HC2 113とを介して供給するように、出力信号を提供し、これにより、コントローラは、第2の差動増幅器94の出力を

10

20

30

40

50

モニタリングして、スイッチSW-2が閉じられている場合に第2のセンス抵抗92に流れる電流をモニタリングすることができる。差動増幅器94は、INA-2 OUTラインの上のフィードバック信号をフィードバックマルチプレクサMUX100にも供給する。

【0038】

図2に示すように、回路が大電力又は大電流モードで動作する場合、作用電極接点WKGは、閉じたスイッチSW-3によって接地GNDに接続される。機器30が大電流モードでのみ動作する場合、スイッチSW-3は、図2に示すように、閉じた位置に固定されてもよく、接地へのハードワイヤで置き換えられてもよい。また、図2に示すように、バッファ回路120は、基準電極接点REFに接続し、バッファリングされた出力信号をREF OUTラインにおいてコンディショナ回路118に提供し、その後、MCU40と電氣的に通信するADC回路ADC-V 117に提供し、これにより、コントローラ40が基準電極接点REFにおける基準電圧をモニタリングすることができる。バッファ120は、基準電極接点REFにおいて検出された電圧を、バッファの出力REF OUTラインに接続された回路に対してバッファリングするように機能する。バッファのREF OUTラインはまた、バッファからのフィードバック信号をフィードバックマルチプレクサMUX100に供給する。

【0039】

MCU40の制御下で、フィードバックマルチプレクサ100は、大電流又は大電力モードで動作する場合、INA-1 OUTライン、INA-2 OUTライン、又はREF OUTラインからのどのフィードバック信号が、負のフィードバック信号として、MUX OUTラインにおいて、大電力アンプHP OPA 70の反転端子（一端子）に切り換え可能に供給されるかを選択する。スイッチSW-1が閉じてSW-2が開くように第1の大電流範囲で動作する場合、第1のセンス抵抗RS1 91を通過して対電極接点CNTへ向かう第1の大電流範囲が、第1の差動増幅器93によって検出され、MCU40の制御下でMUX100が切り換えられ、第1のセンス抵抗RS1 91に流れる電流を反映するINA-1 OUTライン信号を、MUX OUTラインにおいて、負のフィードバック信号として、大電力アンプHP OPA 72の反転端子に供給する。スイッチSW-1が閉じている場合、大電流の第1の範囲において、電圧モードで動作する場合、バッファ120は、基準電極接点REFにおける電圧を反映する基準接点電圧信号を、MUX100へのフィードバック信号として供給し、これにより、コントローラMCU40は、バッファ120からREF OUT信号を、負のフィードバック信号として、大電力アンプHP OPA 72の反転端子に切り換え可能に供給するように、MUX100を制御することができる。第2の大電流範囲で動作する場合、コントローラ40の制御下で、スイッチSW-1が開き、スイッチSW-2が閉じる。その結果、第2のセンス抵抗RS2 92を通過して対電極接点CNTへ向かう第2の大電流範囲が、第2の差動増幅器94によって検出され、第2の差動増幅器94は、第2のセンス抵抗RS2 92に流れる電流を反映する出力をINA-2 OUTラインにおいて提供し、この出力はMUX100にフィードバック信号として供給され、このフィードバック信号は、MUX OUTラインにおける負のフィードバックとして、大電力アンプHP OPA 72の反転端子に切り換え可能に供給されることが可能である。第2の大電流範囲において電圧モードで動作する場合、REF OUTラインにおいてバッファ120からMUX100に供給されるフィードバック信号は、コントローラの制御下のMUX100において切り換えられ、負の出力フィードバック信号として、大電力増幅器HP OPA 72の反転端子に供給されることが可能である。

【0040】

INA-1 OUTラインにおける第1の差動増幅器93から出力信号は、コンディショナ回路112にも供給され、コンディショナ回路112は、INA-1 OUTラインにおいて受信された信号を、ADC回路ADC-HC1 111への供給のために適切なレベルへ調整するように機能し、また、INA-1 OUTラインにおいて受信された信

10

20

30

40

50

号を、ADC変換器回路111への出力に対してバッファするように機能してもよい。ADC回路111は、コンディショナ回路112から供給されたアナログ信号を、コントローラ40のためのデジタル信号に変換するように機能する。同様に、第2の差動増幅器94の出力は、INA-2 OUTラインを介してコンディショナ回路114に接続され、コンディショナ回路114は、アナログ信号を、ADC回路ADC-HC2 113への供給のために適切なレベルへ調整するように機能し、また、INA-2 OUTラインにおいて受信された信号を、ADC回路113に供給される信号に対してバッファするように機能してもよい。ADC回路113は、コンディショナ回路114からのアナログ信号を、コントローラ40のためのデジタル信号に変換するように機能する。REF OUTラインにおいて供給されたバッファの出力は、コンディショナ回路118にも供給され、コンディショナ回路118は、REF OUTラインにおいて供給されたアナログ信号のレベルを、ADC回路ADC-V 117への供給のために調整するように機能し、ADC回路ADC-V 117は、ADC-V 117に供給されたアナログ信号を、コントローラMCU40への供給のために適切なデジタル信号に変換するように機能する。コンディショナ回路118はまた、REF OUTラインにおいて供給された入力を、ADC回路ADC-V 117への出力に対してバッファするように機能してもよい。アナログ・デジタル変換器ADC-HC1 111、ADC-HC2 113、及びADC-V 117は、好ましくは、インターフェースバス115を介してMCU40と通信する、高速かつ高精度の変換器である。このため、MCU40は、第1のセンス抵抗91に流れる電流をADC-HC1 111の出力を介してモニタリングし、第2のセンス抵抗92に流れる電流をADC-HC2 113の出力を介してモニタリングし、電圧基準接点REFにおける電圧ADC-V 117の出力を介してモニタリングするように機能してもよい。

【0041】

小電力／小電流

図3を参照すると、電気化学機器30は、小電流動作モード及び電圧動作モードを提供する小電力動作モードで使用されるように構成された回路について図示される。図3に示すように、コントローラMCU40は、インターフェースバス55を介して図1に示すようなDAC回路50へデジタル制御信号を提供し、DAC回路50は、図3に示すように、デジタル・アナログ変換器回路DAC52及び関連付けられたコンディショナ回路54を含む。DAC回路52は、コントローラ40からのデジタル信号を、コンディショナ回路54に供給される適切なアナログ信号に変換するように機能する。コンディショナ回路54は、DAC52からのアナログ出力のレベルを、設定制御回路60への供給に適しているレベルに調整し、DAC52の出力をバッファするように機能し、次いで、設定制御回路60は、小電力演算増幅器LP OPA82の非反転ピンに出力を供給する。小電力演算増幅器回路LP OPA82は、図1に示すような小電流ドライバ80として機能してもよい。小電力演算増幅器LP OPA82の出力は、スイッチSW-5を介して対電極接点CNTへ接続される。小電流モードで動作する場合、スイッチSW-4が閉じられ、作用電極接点WKGを、図1に示すような小電流モニタリング回路130の入力と接続する。機器30が小電力又は小電流モードでのみ動作する場合、スイッチSW-5及びSW-4は、閉じたままにされてもよく、ハードワイヤ接続で置き換えられてもよい。図3に示すように、作用電極接点WKGは、小電流モードで動作する場合に閉じられるスイッチSW-4を介して接続され、これにより、作用電極接点WKGから流れる電流は増幅器132の反転入力に供給され、増幅器132は、例えば、接地GNDに接続された非反転端子を有する演算増幅器TIA132の形態の電流フォロワ又はトランスインピーダンス増幅器TIAである。トランスインピーダンス増幅器TIA132の出力は、複数のフィードバック抵抗136からなるアレイを介して、アナログマルチプレクサの形態を有するモニタマルチプレクサMUX2 134へ接続され、モニタマルチプレクサMUX2 134は、MCU40の制御下で動作し、トランスインピーダンス増幅器TIA132の反転入力へ接続されて増幅器TIA132のためのフィードバック信号ループを提供

10

20

30

40

50

する。モニタマルチプレクサ134は、コントローラの制御下で、フィードバックループにおける接続のために、小電流動作モードにおいてモニタリングされている電流のための適切な抵抗を有する抵抗アレイ136における適切な抵抗を選択するように動作する。

【0042】

増幅器TIA132の出力は、トランスインピーダンス増幅器TIA132の出力を反転し、そのような信号をMCU40によるモニタリングに適したレベルへ増幅するために、例えば-10の利得を有する負利得増幅器138を介して供給される。図1に示す小電流モニタリング回路130は、図3に示す増幅器TIA132、負利得増幅器138、モニタマルチプレクサMUX2134、及び複数の抵抗136からなるフィードバックアレイを含む。負利得増幅器138は、負利得増幅器138からの出力信号がTIAOUTラインにおいてコンディショナ回路116を介してADC回路119に供給され、インターフェースバス115を介してコントローラと通信するように、十分な利得を生じ、これにより、TIAINラインにおいて検出されてモニタリングされた電流の大きさをコントローラがモニタリングすることができる。コンディショナ回路116は、TIAOUTラインにおけるアナログ信号を適切なレベルに調整し、そのような信号をアナログ・デジタル変換器ADC-LC119への供給のためにバッファリングするように機能し、アナログ・デジタル変換器ADC-LC119は、コンディショナ回路116によって供給されたアナログ信号を、インターフェースバス115を介してコントローラ40への供給のために適切なデジタル信号に変換するように機能する。TIAOUTラインにおける増幅器138から出力信号は、フィードバック信号としてフィードバックマルチプレクサMUX100にも供給される。

【0043】

図3に示すように、バッファ回路120は、基準電極接点REFに電氣的に接続され、基準電極接点REFにおいて検出された電圧を反映するREFOUTラインにおけるバッファリングされた出力信号を供給する。この点では、バッファ120は、REF基準電極接点REFにおいて検出された電圧を反映するバッファリングされたフィードバック信号を、OUTラインにおいて、フィードバックマルチプレクサMUX100への入力として供給する。バッファ120は、基準電極接点REFにおいて検出された電圧を反映するREFOUTラインにおける出力信号を供給し、コンディショナ回路118及びその後段のADC回路ADC-V117を介してMCU40へ供給する。コンディショナ回路118は、REFOUTラインから供給されたアナログ信号を、ADC変換器ADC-Vのための適切なレベルに調整してバッファリングするように機能し、これにより、変換器ADC-Vは、コンディショナ118からのアナログ信号を、バス115を介してコントローラ40への供給のために適切なデジタル出力に変換するように機能し、これにより、コントローラは、基準電極接点REFにおける電圧のレベルをモニタリングすることができる。フィードバックマルチプレクサMUX100は、コントローラの制御下で、小電流モードで動作する場合、TIAOUTラインにおけるフィードバック信号が小電力増幅器LPOPA82の反転端子において負のフィードバックとして切り換え可能に供給可能であるように動作する。電圧モードで動作する場合、コントローラMCU40は、基準電極接点REFにおいて検出された電圧を反映するバッファ120からのREFOUTラインにおけるフィードバック信号を、小電力増幅器LPOPA82の反転端子への負のフィードバック信号として別個に供給するように、フィードバックマルチプレクサMUX100を制御することができる。動作において、MCU40は、ADC-LC119の出力を介して作用電極接点WKGから流れる電流をモニタリングし、ADC-V117の出力を介して基準電極接点REFにおける電圧をモニタリングするように機能してもよい。ここで、ADC-V117及びADC-LC119は、好ましくは、インターフェースバス115を介してコントローラMCU40と通信する、高速かつ高精度の変換器である。

【0044】

回路構成要素

10

20

30

40

50

ここで、回路の動作をより詳しく考慮すると、図4を参照して、コントローラ40は、コントローラチップADuC7026_LQFP80の形態を有するマイクロコントローラ回路41を含む。マイクロコントローラチップ41は、コンピュータプログラムを実行し、ユーザ入力を受信し、電気化学機器30の回路の動作をモニタリング及び制御するように機能する。図4に示すように、マイクロコントローラチップ41のピンのうちのいくつかは、およそ3.3ボルトの電圧源に直接的に又は間接的に接続される。例えば、ピン38は、LED D21を介して3.3ボルトの電圧源に接続され、LED D21は機器30の動作を反映して点灯する。

【0045】

回路のための適切な供給電圧を生成する目的で、図20に示すようなフィルタ回路が接続され、ジャックJ31において正の1.5ボルトの電圧源P15Vに接続され、ジャックJ33において負の1.5ボルトの電圧源N15Vに接続され、これらはキャパシタ151及び152の各アレイにわたって接続され、さらに、ジャックJ32において接地に接続され、これにより、接地接続とともに、+1.5ボルト及び-1.5ボルトのフィルタリングされた出力電圧が生成される。+1.5ボルトの出力は、図21に示すような電源回路155の入力に接続される。図示したように、+1.5ボルトの電圧源は、レギュレータチップLM7805として設けられた電圧レギュレータU1 157の入力に供給され、これにより、レギュレータU1の出力において5ボルトの出力が生成される。電圧レギュレータU1の出力は、チップADP3303として設けられた、低ドロップアウトレギュレータ回路LDO158への入力として供給され、これにより、図21に示すような低ドロップアウトレギュレータチップLDO158の出力において+3.3Vの出力が生成される。低ドロップアウトレギュレータチップLDOからの3.3ボルトの出力は、必要に応じて、図4に示すようなマイクロコントローラチップ41を含む回路素子に供給されてもよい。

【0046】

図4に示すようなマイクロコントローラチップ41は、図4に示すようなピン78において、2V50における+2.5Vの電圧基準にも接続される。選択された電圧基準を生成するために、図17に示すような電圧基準回路154が提供される。図示するように、チップLT460Gによって提供されるような電圧基準チップVREF156は、電源回路155からn5ボルトの入力ソース電圧源に接続される。電圧基準チップVREF156は、チップAD822によって提供されるようなバッファBUFF2 159に接続され、2.5ボルトの第1のバッファリングされた電圧基準2V50と、1.25ボルトの第2のバッファリングされた基準電圧1V25とを提供する。2.5ボルトの基準2V50は、図4に示すようなピン78においてマイクロコントローラ41に接続される。

【0047】

図4に示すように、マイクロコントローラ41のピン18及び19は、ジャックJ23に接続され、赤及び緑のLEDをそれぞれ点灯させるために使用可能である。マイクロコントローラ41のピン20は、ダウンロードジャックJ21に接続され、プログラム更新などの情報、命令、又はプログラミングをダウンロードするための媒体又は装置と接続するために使用可能である。

【0048】

図18を参照すると、コンピュータメモリ160は、図4に示すマイクロコントローラ41により使用するための選択されたプログラム命令及びパラメータを格納するための、EEPROM (electrically erasable and programmable read only memory) チップEP及び関連付けられた回路の形態で提供される。先の命令及びパラメータは、メモリの再プログラミングによって変更されてもよい。EPチップは、コントローラのピン60ヘクロックラインを提供するラインSCLを介して、また、図4に示すようなマイクロコントローラのピン59ヘデータライン、例えばシリアルデータラインを提供するラインSDAを介して、マイクロコントローラ41と通信する。

【0049】

マイクロコントローラ 41 はまた、図 4 に示すように、マイクロコントローラ 41 のリセットを可能にするために、ピン 37 及びジャック J 22 において接続されたリセット回路を含む。マイクロコントローラ 41 はまた、コンピュータ、ネットワーク、スマートフォン、及び／又は他の選択された媒体などの外部装置とチップが通信することを可能にするために、例えばピン 61 及び 62 において、通信ポートを含む。この目的のために、マイクロコントローラ 41 は、ピン 61 及び 62 においてそれぞれ接続された TXmcu における送信ライン及び RXmcu における受信ラインと接続するためのポートを含み、それは、次いで、通信ジャック 165、例えば図 19 に示すようなスマートケーブルジャックに接続されてもよい。

【0050】

機器から熱を除去するために、機器 30 はまた、図 22 に示すように、ファンを駆動するためにファン回路 180 を含む。簡単に説明すると、15 ボルトの入力が、チップ LM7805 によって提供される電圧レギュレータ回路 U2 に供給され、次いで、電圧レギュレータ回路 U2 は、ファンに接続されたジャック J 36 に 5 V の出力を供給する。

【0051】

図 4 のマイクロコントローラ 41 はまた、図 1 に示すようなインターフェースバス 55 を介して、図 5 に示すようなデジタル・アナログ変換器 DAC50 と通信する。図 4 及び図 5 により具体的に示すように、マイクロコントローラ 41 は、マイクロコントローラ 41 のピン 52 と、図 5 に示すようなチップ AD5541 __SOIC によって提供されるようなデジタル・アナログ変換器チップ DAC52 のピン 6 との間に接続されたマスター出力／スレーブ入力ライン MOSI を含むインターフェースバス 55 によって、マイクロコントローラ 41 のピン 51 と DAC チップのピン 4 との間に接続されたスレーブ選択ライン DAC __SS によって、かつ、マイクロコントローラ 41 のピン 58 と DAC チップ 52 のピン 5 との間に接続されたシリアルクロックライン SCLK によって、デジタル・アナログ回路 DAC50 と通信する。図 5 に示すように、DAC チップ 52 は、基準電圧、ピン 3 における 2.5 ボルトの基準電圧 2V50 にも接続される。マイクロコントローラ 41 は、MOSI ラインを介してデジタル信号を DAC チップ DAC52 へ提供し、スレーブ選択ライン DAC __SS を介して、動作させる DAC チップ 52 を選択する。クロックライン SCLK を介してタイミングクロック信号が供給される。図 2 及び図 3 に示すように、マイクロコントローラからのデジタル信号に応じた DAC チップ 52 は、アナログ出力信号を、チップ AD822 によって提供されるようなバッファ回路 BUF3 54 の入力ピン 3 に提供し、バッファ回路 BUF3 54 は、図 2 及び 3 に示すようなコンディショナ回路 54 として機能し、図 5 に示すようなバッファチップ BUF3 54 の出力ピン 1 において、電流又は電力ドライバを駆動させるために適したレベルにバッファリングされて調整されたアナログ出力信号 VD AC を提供する。

【0052】

コンディショナ回路 54 からの出力 VD AC は、図 7 に示すような設定制御回路 60 への入力として供給される。より具体的には、コンディショナ回路 54 からの出力 VD AC は、図 7 に示すように、チップ AD822 及び関連付けられた回路によって提供されるような演算増幅器 OPA1 のピン 3 において入力として供給される。演算増幅器 OPA1 は、図 1 ～図 3 に示す設定制御回路 60 として機能する。マイクロコントローラ 41 は、大電力演算増幅器 HP OPA72 (図 2 に示す) をイネーブルにするように機能する電力イネーブルライン PA __EN を介して、図 7 に示すような演算増幅器 OPA1 とも電氣的に通信する。大電力演算増幅器 HP OPA72 は、大電流ドライバ 70 (図 1 に示す) として機能してもよい。図 2 に示す大電力演算増幅器 HP OPA72 は、図 2 及び図 7 に示すように、設定制御回路 60 が CTRL ラインにおいて OPA1 のピン 1 から出力制御信号を生成し、この信号が大電力演算増幅器 HP OPA72 の PA72 のピン 1 に供給される場合、及び、コントローラが図 7 に示すように PA __EN ラインにおいてイネーブル信号を設定制御回路 60 への提供する場合、出力ライン PAout において大電力出力を提供するために、具体的には図 7 に示すチップ OPA548 及び関連付けられた回路

10

20

30

40

50

として提供される電力増幅器チップPAを含む。図4及び図7に示すように、電力イネーブルラインPA_ENは、図4に示すようなコントローラ41のピン41と、図7に示すような設定制御回路OPA160のピン5との間に接続される。大電力増幅器70からの出力をディセーブルにするために、コントローラは電力イネーブルラインPA_ENをディセーブルにし、それによって、大電力増幅器72からの出力PAoutをディセーブルにする。図7に示すように、設定制御回路60はまた、CTRLラインにおいてOPA1のピン1から出力制御信号を生成し、この信号は、小電力演算増幅器回路82（図3に示す）にも供給される。小電力演算増幅器回路82は、図3及び図9に示すような小電流ドライバ80（図1に示す）として機能する。

【0053】

小電流ドライバ80（図1に示す）は、図9に示すようなチップAD822及び関連付けられた回路によって提供されるような演算増幅器OPA3の形態で、小電力演算増幅器LP_OPA82（図3に示す）を含む。ここで、図9を参照すると、設定制御回路60からの制御信号CTRLは、演算増幅器OPA382のピン5における入力として供給される。演算増幅器OPA382のピン7における出力は、図9に示すようなデジタル制御されたアナログリレーRELAY5によって提供されるスイッチSW-5への入力として供給される。マイクロコントローラ41は、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン35と、図9に示すようなリレーRELAY5のピン2との間に接続されたリレーラインRLY5を介して、スイッチSW-5として動作するリレーRELAY5と通信する。スイッチSW-5の出力は、リレーRELAY5のピン3において提供されて出力信号を生成し、出力信号は、小電流又は小電力動作モードにおける作用信号として、図1及び図3に示すような容器35における対電極のための対電極接点CNTに供給される。従って、マイクロコントローラ41は、リレーRELAY5が起動される場合には小電力増幅器82が対電極接点CNTに接続される一方、コントローラがRLY5ラインを介してリレーRELAY5を開く場合には小電力増幅器LP_OPA82が対電極接点CNTから切断されるように、スイッチSW-5を制御するように機能してもよい。

【0054】

図1に示すように、大電流又は大電力動作モードで動作する場合、大電流ドライバ70からの出力はPA_OUTラインにおいて大電流モニタ回路90に供給される。図8を参照すると、概して90と呼ばれる大電流モニタ回路は、スイッチSW-1及びSW-2とともにより詳細に図示される。図8に示すように、大電流ドライバ70から作用信号として供給される大電力出力信号PAoutは、第1のセンス抵抗91と、例えば差動増幅器、好ましくは、チップINA121によって提供されるような計装増幅器INA1の形態を有する第1の増幅器93とを有する第1の大電流モニタリング回路を利用する大電流モニタ90によってモニタリングされる。大電流モニタリング回路はまた、第2のセンス抵抗92と、例えば差動増幅器、好ましくは、具体的には図8に示すようなチップINA121によって提供されるような計装増幅器INA2によって提供される第2の増幅器94とによって提供される、第2の大電流モニタリング回路を含む。図示するように、大電力増幅器72からのラインPAoutにおける出力は、第1のセンス抵抗RS191及び第1のスイッチSW-1を介して対電極接点CNTに供給され、これと並列に、第2のセンス抵抗RS292及び第2のスイッチSW-2を介して対電極接点CNTに供給される。センス抵抗1を利用する第1の大電流モニタリング回路が、大電力演算増幅器HP_OPA72からのラインPAoutにおける第1の電流範囲のために使用されてもよいように、かつ、センス抵抗92を用いる第2の大電流モニタリング回路が、大電力演算増幅器HP_OPA72からのラインPAoutにおける第2の電流範囲のために利用されるように、第1及び第2のセンス抵抗は、異なる抵抗を有するように選択される。スイッチSW-1は、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン30と、図8に示すようなリレー回路RELAY1のピン2との間のリレーラインRLY1を介してマイクロコントローラ41の制御下で動作する、デジタル制御されたアナログリレーRELAY1によって好ましくは提供される。同様に、マイクロコントローラ41は、図4に示すような

10

20

30

40

50

マイクロコントローラ 41 のピン 31 と、図 8 に示すようなリレー回路 R E L A Y 2 のピン 2 との間で接続するリレーライン R L Y 2 のラインを介して、好ましくは図 8 に示すデジタル制御されたアナログリレー R E L A Y 2 によって提供される、スイッチ S W - 2 の動作を制御する。

【0055】

第 1 の大電流範囲における動作のために、マイクロコントローラ 41 が、リレーライン R L Y 1 を介してスイッチ S W - 1 を閉じて、大電流ドライバからの作用電流を提供する出力 P A o u t に、センス抵抗 91 を介して対電極接点 C N T を接続させ、これにより、そのような電流の流れが、第 1 のセンス抵抗 91 の両端にわたる電圧によって検出されるように、大電流モニタリング回路 90 はマイクロコントローラの制御下で動作する。スイッチ S W - 1 がマイクロコントローラ 41 によって閉じられるとき、スイッチ S W - 2 は、マイクロコントローラ 41 の制御下で、リレーライン R L Y 2 を介して開かれる。スイッチ S W - 1 が閉じているとき、第 1 のセンス抵抗 91 を介して流れる電流は、第 1 のセンス抵抗 91 にわたって流れる電流に比例する電圧降下を生成し、電流は、図 8 に示すような計装増幅器の形態を有していてもよい差動増幅器 93 によって検出される。第 1 のセンス抵抗 91 の両端にわたる電圧降下に応じて、差動増幅器 93 は、第 1 のセンス抵抗 91 を介して流れる電流に依存する出力 I N A 1 o u t を生成し、出力 I N A 1 o u t は、マイクロコントローラ 41 によるモニタリングのために、図 1 に示すようなアナログ・デジタル変換器回路 A D C 110 への入力として供給される。I N A 1 o u t における差動増幅器 93 から出力は、図 2 に示すようなフィードバックマルチプレクサ M U X 100 へ供給するための（図 1 に示す I N A O U T の）フィードバック信号としても使用可能である。図 8 を再び参照すると、第 2 の大電流範囲において動作する場合、マイクロコントローラ 41 は、リレーライン R L Y 1 を介する信号によってスイッチ S W - 1 を開かせ、リレーライン R L Y 2 を介する信号によってスイッチ S W - 2 を閉じさせ、これにより、第 1 のセンス抵抗 91 とは異なる抵抗を有する第 2 のセンス抵抗 92 が、大電流ドライバからの作用電流 P A o u t の出力に、第 2 のスイッチ S W - 2 を介して、対電極接点 C N T を接続する。スイッチ S W - 2 が閉じられた場合、第 2 のセンス抵抗 92 に流れる電流は、比例又は依存する電圧降下を生成し、この電圧降下は、第 2 のセンス抵抗にわたる電圧降下を検出する計装増幅器 I N A 2 の形態で提供された差動増幅器 94 によってモニタリング可能である。第 2 のセンス抵抗 92 の両端にわたって検出された電位差に応じて、差動増幅器 94 は、検出された電圧に依存する出力信号 I N A 2 o u t を供給し、この信号は、図 1 及び図 2 に示すようなフィードバックマルチプレクサ M U X 100 に対する（図 1 に示す I N A O U T の）フィードバック信号として使用可能である。さらに、差動増幅器 94 から供給された出力 I N A 2 o u t は、コントローラ 40 によるモニタリングのために、図 1 に示すような A D C 回路 110 への入力 I N A O U T としても供給可能である。

【0056】

図 2 に概略的に示すように、差動増幅器 93 からの出力 I N A - 1 O U T は、コントローラ 40 によるモニタリングのために、コンディショナ回路 112 を介して供給可能であり、コンディショナ回路 112 は、アナログ・デジタル変換器回路 A D C - H C 111 への供給のために、入力信号のレベルを調整し、そのような入力信号をバッファリングするように機能する。図 14 により具体的に示すように、大電流モニタの第 1 のモニタリング回路からの出力は、出力信号 I N A 1 o u t として、チップ A D 8 22 によって提供されたバッファ S F T - B U F - 1 及び関連付けられた回路の形態で提供されたコンディショナ回路 112 の入力に供給され、コンディショナ回路 112 は、入力信号 I N A 1 o u t をバッファリングし、この信号を、チップ L T C 1864 A _ S O I C によって提供された A D C 回路チップ A D C 1 及び関連付けられた回路によって提供されたアナログ・デジタル変換器 111 への供給のために適切なレベルに調整し、アナログ・デジタル変換器 111 は、マイクロコントローラ 41 への供給のために、コンディショナ回路 112 からのアナログ入力をデジタル出力に変換するように機能する。A D C 回路チッ

プADC1は、図1及び図2に示すように、インターフェースバス115を介してマイクロコントローラ41に接続され、インターフェースバス115は、図4に示すように、マイクロコントローラ41のピン58、57、56にそれぞれ接続されるクロックラインSCLK、マスター入力／スレーブ出力ラインMISO、及び制御線ADC1_CNVを含む。

【0057】

また、図2に概略的に示すように、差動増幅器94からの出力INA-2_OUTは、コントローラ40によるモニタリングのために、コンディショナ回路114を介して供給可能であり、コンディショナ回路114は、アナログ・デジタル変換器回路ADC-HC1113への供給のために、信号のレベルを調整し、そのような信号をバッファリングするように機能する。図15により具体的に示すように、大電流モニタの第2のモニタリング回路からの出力は、出力信号INA2_outとして、チップAD822として提供されたバッファSFT-BUF-2及び関連付けられた回路を含むコンディショナ回路114の入力に供給され、コンディショナ回路112は、入力信号INA2_outをバッファリングし、この信号を、チップLTC1864A__SOICによって提供されたADC回路チップADC2及び関連付けられた回路によって提供されたアナログ・デジタル変換器113への供給のために適切なレベルに調整し、アナログ・デジタル変換器113は、マイクロコントローラ41への供給のために、コンディショナ回路114からのアナログ入力をデジタル出力に変換するように機能する。ADC回路チップADC2は、図1及び図2に示すように、インターフェースバス115を介してマイクロコントローラ41に接続され、インターフェースバス115は、図4に示すように、マイクロコントローラ41のピン58、57、55にそれぞれ接続されるクロックラインSCLK、マスター入力／スレーブ出力ラインMISO、及び制御線ADC2_CNVを含む。

【0058】

図1、図2、及び図3に概略的に示すように、マイクロコントローラ41は、基準電極接点REFにおける電圧をモニタリングするために、バッファ120とも電氣的に通信する。図11により具体的に示すように、バッファ120は、チップAD822として提供されたバッファチップBUF5及び関連付けられた回路を含む。バッファチップBUF5のピン3における入力、基準電極接点において現れる電圧がピン3における入力としてバッファチップBUF5に供給されるように、基準電極用のジャックJ62において基準電極接点REFに接続される。これを受けて、バッファチップBUF5は、出力ピン1において抵抗R65を介して出力REF_outを供給する。バッファチップ5からのREF_outラインは、ピン3における基準電極接点REFからの電圧入力に対してバッファリングされる、図1、図2、及び図3に示すようなフィードバックマルチプレクサMUX100への電圧基準フィードバック信号を提供する。

【0059】

図11を再び参照すると、ジャックJ62において基準電極接点に接続されたバッファチップBUF5は、基準電極接点REFにおける電圧又は信号を検出するように機能し、また、基準電極接点REFにおいて検出された電圧を表すバッファリングされた出力REF_outを出力ピン1において提供するように動作し、出力REF_outはマイクロコントローラ41によってモニタリング可能である。この目的のために、バッファチップBUF5からのREF_outは、図16に示すようなコンディショナ回路118に供給され、コンディショナ回路118は、ADC回路117への供給のために、信号をバッファリングして適切なレベルへ調整し、ADC回路117は、インターフェースバス115を介してコントローラ40へ供給するために、コンディショナ回路118からのアナログ信号を適切なデジタル信号に変換する。図16により具体的に示すように、図11に示すようなBUF5の形態を有するバッファ120からの出力REF_outは、チップAD822によって提供されるような、コンディショナ回路118のバッファチップSFT-BUF-4のピン3において入力として供給される。バッファチップは、REF_outにおいて入力として提供された信号を、チップLTC1864A__SOICの形態を有するADC

チップADC4によって提供されたADC回路117への入力のために適切なレベルに調整する。ADCチップADC4は、インターフェースバス115を介してマイクロコントローラ41と通信し、インターフェースバス115は、信号のクロック生成及びタイミングのためのクロックラインCLKと、マイクロコントローラ41へ信号を送信するためのマスター入力／スレーブ出力MISOラインと、マイクロコントローラ41から制御信号を受信するための制御線ADC4_CNVとを有し、これらのラインは、図4に示すようなコントローラ41のピン58、57、及び49にそれぞれ接続される。

【0060】

図11を再び参照すると、オプションで、バッファ120のバッファチップBUF5は、対電極のためにジャックJ61において対電極接点CNTに接続されてもよく、また、図8により具体的に示すような第1及び第2の大電流モニタリングスイッチSW-1及びSW-2を介して選択的に大電流モニタリング回路90からの出力ラインCNTに選択的に接続されてもよく、又は、図9により具体的に示すようなスイッチSW-5を介して小電流ドライバから出力ラインCNTに選択的に接続されてもよい。図11を再び参照すると、ジャックJ61によって提供される対電極接点CNTにおける信号は、バッファチップBUF5のピン5に対する入力として供給される。これを受けて、バッファチップBUF5はピン7においてバッファリングされた出力CNToutを供給し、この出力は、図4に示すようなコントローラ41のピン80において接続されたCNTmonラインを介してマイクロコントローラ41によりモニタリングするために、図1に示すようなADC回路125に供給可能である。より具体的には、図23を参照すると、対電極接点CNTにおいて検出された信号を表すバッファ120からのCNTout信号は、チップAD822として提供されたバッファチップSFT-BUF-5及び関連付けられた回路を含むバッファ回路127への入力として供給可能であり、バッファ回路127は、マイクロコントローラ41への供給用のためのバッファリングされた出力CNTmonを、好ましくは図1に示すようなADC回路125を介して提供する。

【0061】

図1に示すように、作用電極接点WKGは、機器が大電力又は大電流モードで動作するように構成される場合、スイッチSW-3によって接地に接続されてもよく、又は代替として、機器が小電力又は小電流モードで動作するように構成される場合、スイッチSW-4によって小電流モニタ130に接続されてもよい。図12により詳細に示すように、ジャックJ63において提供された作用電極接点WKGは、スイッチSW-3及びSW-4の両方への入力として、それらの各入力ピン4において接続される。図12に示すように、スイッチSW-3は、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン32に接続されたリレーラインRLY3を介してマイクロコントローラの制御下で動作する、好ましくはデジタル制御されたアナログリレーであるリレーRELAY3の形態で提供される。同様に、スイッチSW-4は、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン33に接続されたリレーラインRLY4を介してマイクロコントローラ41の制御下で動作する、好ましくはデジタル制御されたアナログリレーであるリレーRELAY4の形態で提供される。このため、大電流又は大電力モードで動作するとき、マイクロコントローラ41はリレーRELAY3を閉じさせ、これにより、ジャックJ63における作用電極接点WKGに、リレーRELAY3の出力ピン3における接地を接続させ、また、リレーRELAY4を開かせ、これにより、ジャックJ63において提供された作用電極接点WKGを、リレーRELAY4のピン3におけるTIAinラインにおけるリレーRELAY4の出力から切断させる。小電力又は小電流モードで動作するとき、コントローラ41は、リレーRELAY3を開かせ、ジャックJ63において提供された作用電極接点WKGを、出力ピン3における接地から切断させ、また、リレーRELAY4を閉じさせ、作用電極接点WKGに出力ラインTIAinを接続させ、これにより、図1に示すような小電流モニタリング回路130に接続する。図3に示すように、スイッチSW-4が閉じているとき、スイッチSW-4から出力されるTIAinラインは、カレントフォロウ増幅器又はトランスインピーダンス増幅器TIAとして構成された演算増幅器132の形態で提

10

20

30

40

50

供された増幅器への入力として供給される。T I A I Nラインは、スイッチSW-4を介して、符号132を有するトランスインピーダンス増幅器T I Aの反転端子へ供給される。T I A増幅器132の非反転入力は、図3に示されるように接地に接続される。T I A増幅器132からの出力は、-10の利得を有し、T I A増幅器からの信号を反転してT I A o u tとして供給する増幅器138への入力として供給される。さらに、T I A増幅器132からの出力は、複数のフィードバック抵抗136からなるアレイを介して、マイクロコントローラ41の制御下のモニタマルチプレクサM U X 134を介して供給され、T I A増幅器132の反転入力へのフィードバック信号を提供し、それによって、コントローラ40の制御下で小電流モニタリングを提供する。概して130で示す小電流モニタリング回路を、図10により詳しく示す。図10を参照すると、作用電極接点W K Gからの信号は、図3に概略的に示すように、スイッチSW-4を介してT I A i nラインにおいてモニタリング回路130に提供され、また、図10により具体的に示すように、チップA D 8 2 2によって提供される演算増幅器回路O P A 2 133及び関連付けられた回路の反転入力ピン6に供給される。演算増幅器O P A 2は、ピン5~8においてトランスインピーダンス増幅器132の機能を提供し、ピン1~4において負利得増幅器138の機能を提供する。図10に示すように、T I A i n信号は演算増幅器O P A 2の反転入力ピン6において入力され、一方、ピン5における非反転入力に接地に接続される。演算増幅器O P A 2のT I Aセクションは、出力ピン7において出力を生成し、この出力は、抵抗R F 1~R F 8を含む抵抗アレイ136に供給され、また、演算増幅器O P A 2の負利得増幅器セクションの反転ピン2における入力に供給される。抵抗アレイ136は、演算増幅器O P A 2のT I A増幅器セクションの出力ピン7におけるT I A増幅器132の出力と、チップA D G 1 4 0 8によって提供された、デジタル制御されたアナログマルチプレクサなどのモニタマルチプレクサM U X 2 134との間に接続され、モニタマルチプレクサM U X 2 134は、マイクロコントローラ41の制御下でアレイにおける選択された抵抗を切り換え可能に接続し、切り換え可能に選択されたフィードバック信号を生成するように機能し、このフィードバック信号は、モニタマルチプレクサM U X 2の出力ピン8から演算増幅器O P A 2のT I Aセクションのピン6における反転入力に供給される。このフィードバックループを考えれば、T I A増幅器132の出力は、演算増幅器O P A 2のピン7から、M U X 2として提供されたモニタマルチプレクサ134への入力としてそれぞれ接続された、10k、1k、100、10、100k、1M、10M、50Mの別個の抵抗R F 4、R F 3、R F 2、R F 1、R F 5、R F 6、R F 7、及びR F 8を有する抵抗アレイ136に供給される。モニタマルチプレクサ134の出力は、M U X 2からピン8において供給され、演算増幅器O P A 2のピン6へのフィードバック入力になる。マルチプレクサチップM U X 2は、マイクロコントローラ41がモニタマルチプレクサM U X 2をイネーブル及びディセーブルにすることができるように、M U X 2イネーブルラインM U X 2 E nを介してマイクロコントローラ41と通信し、また、マイクロコントローラが、フィードバックループにおける接続のためにアレイ136における適切な抵抗を切り換え可能に選択する一方、他の抵抗を切断することができるように、M U X 2選択ラインM u x 2 S e l 0、M u x 2 S e l 1、M u x 2 S e l 2ラインを介してマイクロコントローラ41と通信する。M u x 2 E nラインは、モニタマルチプレクサM u x 2のピン2から、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン43に接続される。同様に、図10に示すM u x 2 S e l 0、M u x 2 S e l 1、M u x 2 S e l 2ラインは、ピン46、47、及び48においてマイクロコントローラ41にそれぞれ接続される。マイクロコントローラ41は、M u x 2 E nラインを介して、モニタM U X 2 134の動作をイネーブルにする制御信号を送るように機能する。フィードバックループにおける接続のために選択された特定の抵抗は、M u x 2 S e l 0~2ラインを介してマイクロプロセッサによって送られたM U X選択信号によって選択されている。アレイ136の選択される特定の抵抗は、マイクロコントローラ41によって、図3に示すようなコンディショナ回路116及びA D C回路A D C-L C 119を介してT I A o u tラインにおいてモニタリングされている電流に依存する。演算増幅器O P A 2 133からのT I A

10

20

30

40

50

outラインは、図3に示すように、また、図6により具体的に示すように、小電流モニタリング回路からフィードバックマルチプレクサ回路MUX100にフィードバック信号を提供する。図10を再び参照して、増幅器OPA2 133からのTIAoutラインは、図3に示すようなコンディショナ回路116及びADC回路ADC-LC 119を含む、図1に概略的に示すようなADC回路100に供給される。

【0062】

図3に示すコンディショナ回路116及びADC回路ADC-LC 119を、図13により詳しく示す。ここ図13を参照すると、コンディショナ回路116は、チップAD822によって提供されたバッファ回路SFT-BUF-3及び関連付けられた回路を含み、バッファ回路SFT-BUF-3は、チップLTC1864A__SOICの形態を有するADC回路ADC3によって提供されるアナログ・デジタル変換器回路ADC-LC 119への供給に適したレベルになるように、TIAoutラインにおけるアナログ信号入力を調整してレベルを設定するように機能する。バッファSFT-BUF-3の出力ピン7におけるコンディショナ回路116からの出力は、図13に示すようなADC回路ADC3 119のピン2への入力として供給される。このため、ADC回路ADC3は、SFT-BUF-3のピン3においてTIAoutラインにおいてコンディショナ回路116に供給されているアナログ信号を、マイクロコントローラ41によるモニタリングに適したデジタル信号へ変換するように機能する。図13に示すようなADC回路ADC3 119は、図3に示すようなインターフェースバス115を介してマイクロコントローラ41と通信し、図4及び図13に示すように、マイクロコントローラからクロック信号を提供するラインSCLKと、ADC3におけるADC回路からの信号をマイクロコントローラ41に提供するマスター入力／スレーブ出力ラインMISOと、マイクロコントローラ41からの制御信号を提供する制御線ADC3__CNVとを介してマイクロコントローラ41と通信する。より具体的には、図4及び図13に示すように、クロックラインSCLKは、図13に示すようなADC回路ADC3のピン7に、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン58を接続する。MISOラインは、図13に示すようなADC回路ADC3のピン6に、図4に示すようなマイクロコントローラ41のMISOピン57を接続する。最後に、制御線ADC3__CNVは、図13に示すようなADC回路ADC3のピン5に、図3に示すようなマイクロコントローラ41のピン50を接続する。このように、図1に概略的に示すように、小電流モニタリング回路130からのTLAOUTラインは、ADC回路110を介して供給可能であり、これにより、小電流モニタからのアナログ出力は、インターフェースバス115を介したMCU40への供給のために適したデジタル入力信号に変換され、マイクロコントローラが小電流モニタからの信号をモニタリングできるようになる。

【0063】

図1に示すように、MCU40はまた、図6により詳しく示すようなインターフェースバスMUXを介してフィードバックマルチプレクサMUX100と接続される。フィードバックマルチプレクサ100は、図6に示されるような、チップADG1408の形態を有するマルチプレクサチップMUX1及び関連付けられた回路を含んでもよい。フィードバックマルチプレクサMUX1及び関連付けられた回路は、図1に示すようなインターフェースバスMUXを介して、図4に示すようなマイクロコントローラ41に接続されたデジタル制御されたアナログマルチプレクサ回路を提供するように機能する。インターフェースバスMUXは、図4に示すマイクロコントローラ41のピン63と、図6に示すようなMUX1回路のピン2とを接続するマルチプレクサイネーブルラインMUX1Enを含み、マイクロコントローラ41からのイネーブル信号によってMUX1回路の動作をイネーブルにするイネーブルラインを提供する。図1に示すようなインターフェースバスMUXは、図4に示すようなマイクロコントローラ41のピン64、65、及び66に図6に示すようなMUX1回路のピン1、16、及び15をそれぞれ接続する出力選択ラインMUX1Sel0、MUX1Sel1、MUXSel2を含む。MUX1回路からの出力を、図6に示すようなMUX1チップのピン8において接続されたMUXoutラインに

提供するために、マイクロコントローラ 41 の制御下で、MUX 1 のピン 4 に接続された T I A o u t ライン、MUX 1 のピン 5 に接続された R E F o u t ライン、MUX 1 回路のピン 6 に接続された I N A 2 o u t ライン、及び MUX 1 のピン 7 に接続された I N A 1 o u t ラインにおけるフィードバック信号によって提供されたどの入力も切り換え可能に接続されてもよいかをマイクロコントローラ 41 が選択できるように、選択ラインは利用される。このため、図 1 を参照すると、フィードバックマルチプレクサ 100 の図 6 に示す MUX 1 チップは、入力として、小電流モニタリング回路 130 から T I A o u t ラインにおいて提供されたフィードバック信号と、基準電極接点 R E F に接続されたバッファ 120 から R E F o u t ラインにおいて提供された電圧フィードバック信号と、図 2 に示すような I N A 1 o u t ラインにおけるフィードバック信号を含む I N A O U T ラインにおいて供給されたフィードバック信号と、大電流モニタリング回路 90 からの異なる範囲の電流のために図 2 に示すような I N A 2 o u t ラインにおいて供給されたフィードバック信号とを受信する。従って、図 6 を再び参照すると、マイクロコントローラ 41 は、小電流モードで動作する場合には T I A o u t ラインにおける入力が MUX o u t ラインにおいて供給されるように、第 1 の選択された電流範囲において大電流モードで動作する場合には I N A 1 o u t ラインにおける入力が MUX o u t ラインにおいて供給されるように、第 2 の選択された電流範囲において大電流モードで動作する場合には I N A 2 o u t ラインにおける入力が MUX o u t ラインにおいて供給されるように、電圧モードで動作する場合には R E F o u t ラインにおける入力が MUX o u t ラインにおいて供給されるように、フィードバックマルチプレクサ MUX 100 の動作を制御する。図 1 に示すように、フィードバックマルチプレクサ 100 からの MUX o u t ラインは、小電流ドライバ 80 への入力として、及び、大電流ドライバ 70 への入力として供給され、これにより、フィードバック信号が動作モードに依存して適切なドライバに供給される。より具体的には、大電流モードにおいて動作する場合、図 7 に示す電力増幅器 72 に供給された MUX o u t 信号が、選択的に、第 1 の選択された電流範囲において大電流モードで動作する場合には（図 2 に示すような）ライン I N A - 1 O U T からフィードバック信号になるか、又は、第 2 の選択された電流範囲において大電流モードで動作する場合には（図 2 に示すような）ライン I N A - 2 O U T に係るフィードバック信号になるかのいずれかとなりうるように、又は代替として、大電力又は大電流動作における電圧モードで動作する場合、R E F O U T ラインにおけるフィードバック信号になりうるように、図 6 に示すようなフィードバックマルチプレクサ MUX 100 のピン 8 からの MUX o u t ラインは、図 7 に示すような電力増幅器 O P A P A 72 のピン 2 における反転入力への出力として供給される。図 6 に示すような MUX o u t ラインは、MUX 1 のピン 8 から、図 9 に示すような小電流増幅器 O P A 3 82 のピン 6 への入力として供給される。小電流又は小電力の動作モードでは、小電流モニタ 130 からの図 3 に示すような T I A O U T ラインにおけるフィードバック信号は、小電流モードにある小電力増幅器 82 にフィードバック信号として MUX o u t ラインにおいて供給することができ、又は代替として、小電力又は小電流レベルにおいて電圧モードで動作する場合には、フィードバック信号又は R E F o u t ラインは、MUX o u t ラインにおいて小電力増幅器 82 に供給することができる。

【0064】

電気化学機器 30 は、コンピュータで実行されたプログラムの制御下で動作してもよい。図 24 のフローチャートの形態で、選択されたプログラム動作の一例を示す。図 24 を参照すると、開始ステップ 200 において、電気化学機器 30 の電源が最初にオンされ、又は電源をオンした後の場合にはリセットされ、動作を開始する。ステップ 205 において、機器 30 のハードウェア及びソフトウェアが初期化され、機器からの出力が一時的にディセーブルにされる。決定ステップ 210 において、電流、タイミング、シーケンス処理、他は他の選択された動作モードのような何らかの新たなパラメータ又は設定が受信されているか否かを決定する。新たな設定又はパラメータが受信されている場合、ステップ 215 において、必要な設定が更新される。ステップ 220 において、ステップ 210 に

10

20

30

40

50

において新たなパラメータ又は設定が受信されていないか、ステップ 215 において何らかのそのようなパラメータ又は設定がいったん更新された場合、開始動作のための S T A R T コマンドが受信されたか否かを決定する。S T A R T コマンドが受信されていない場合は、プログラムはステップ 210 に戻り、もう一度、何らかの新たなパラメータ又は設定が受信されているか否かを決定する。しかしながら決定ステップ 220 において、S T A R T コマンドが受信されたと決定した場合、プログラムは、電圧モード、大電流モード、又は小電流モードのような、機器 30 の動作のモードを設定するステップ 225 に進む。次にステップ 230 において、機器は、選択された動作モードのために必要な電圧又は電流を設定し、次にステップ 235 において、各データ点の時間、測定の合計時間、又は他の選択されたタイミングパラメータのような、動作のタイミングを設定し、計算し、制御する。次にステップ 240 において、機器は自動範囲設定機能を実行し、例えば、高分解能、低雑音、及び高ダイナミックレンジなど、最良の結果を実現するように回路を設定することにより、適切な電流範囲を検出して自動的に選択する。ステップ 245 において、機器は、基準電圧及び出力電流を読み出し、次にステップ 250 に進み、測定中に警告又はアラームがあったか否かをチェックする。ステップ 255 において、電圧及び／又は電流のような測定された結果は、通信ポートを介して、ホストコンピュータ又はデータコレクタのような他の装置に送信されてもよい。次にステップ 260 において、機器は、測定中に検出されたハードウェア又はソフトウェアのエラーがあったか否かを決定する。エラーがあった場合、プログラムはステップ 270 に進み、出力をディセーブルにする。ステップ 260 においてエラーが検出されない場合、プログラムは決定ステップ 265 に進み、S T O P コマンドが受信されているか否かを決定する。S T O P コマンドが受信された場合、プログラムは再びステップ 270 に進み、出力をディセーブルにする。ステップ 265 において S T O P コマンドが受信されていない場合、プログラムはステップ 230 に戻り、再び電圧及び電流制御の設定を決定して再びステップ 230 からステップ 265 のステップを繰り返す。最後にステップ 270 において、出力をディセーブルにした後、プログラムはステップ 210 に戻り、何らかの新たなパラメータ又は設定が受信されているか否かを決定し、次いで、再び各動作ステップに進む。

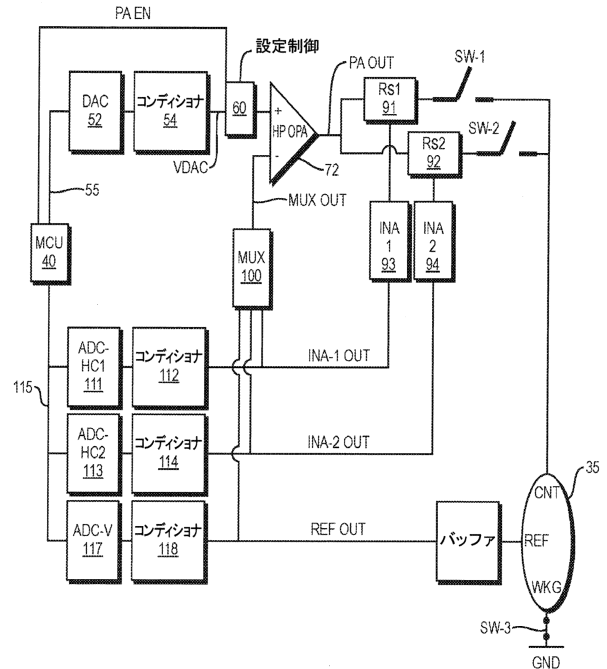
【0065】

本発明の所定の実施形態が上で説明及び／又は例示されたが、当業者には、先の開示から、様々な他の実施形態が明らかになる。従って、本発明は、説明及び／又は例示した特定の実施形態に限定せず、添付された特許請求の範囲及びその精神から離れることなく、大幅に変化又は変更してもよい。

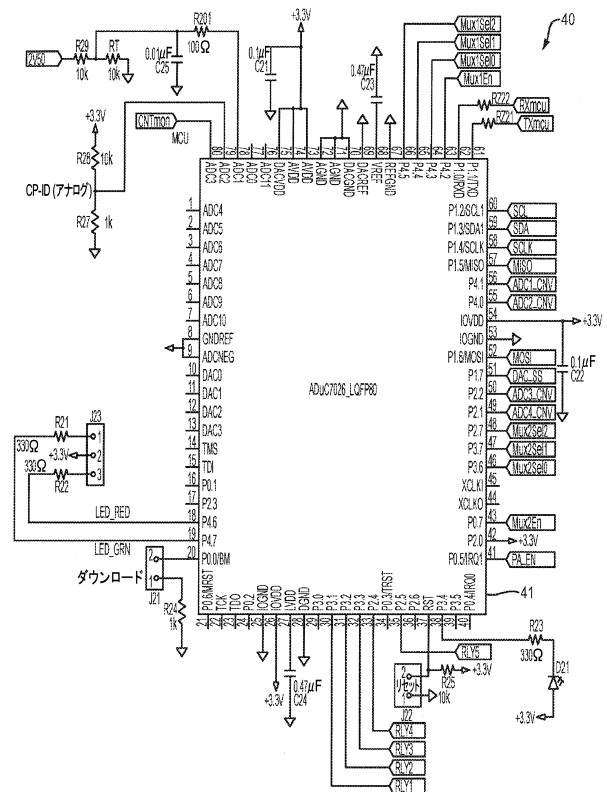
【0066】

さらに、本明細書で使用されるように、用語「約」は、寸法、サイズ、定式化、パラメータ、形状、又は他の量及び特性が厳密なものではなく、厳密である必要もなく、所望に応じて、公差、変換係数、丸め、測定誤差など、及び当業者が既知の他のファクターを反映し、近似的であってもよく、大きくても小さくてもよい。概して、寸法、サイズ、定式化、パラメータ、形状、又は他の量及び特性は、そのように明示的に述べているか否かにかかわらず、おおよその値である。非常に異なるサイズ、形状、及び寸法の実施形態もまた、説明した構成を使用可能であることに注意する。

【図 2】



【図 4】



【図 5】

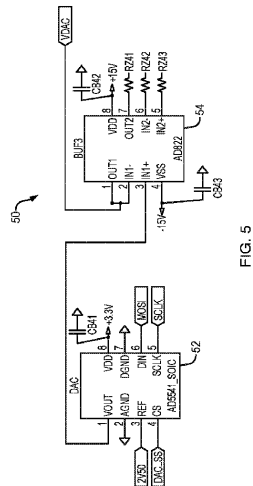
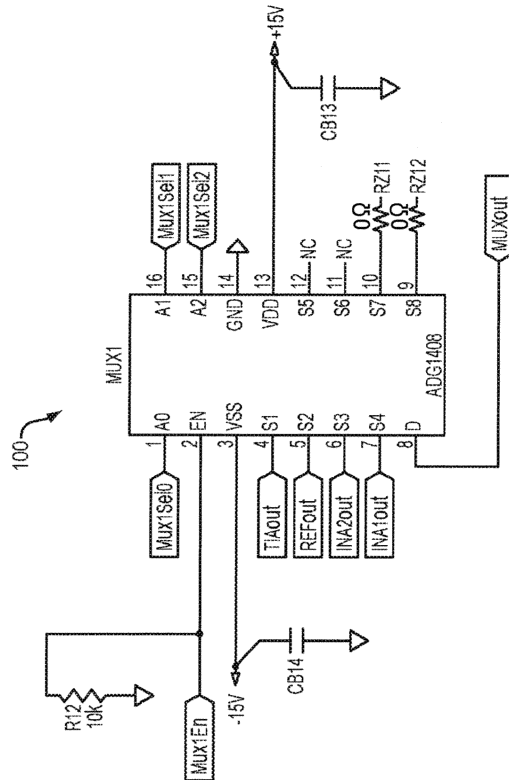
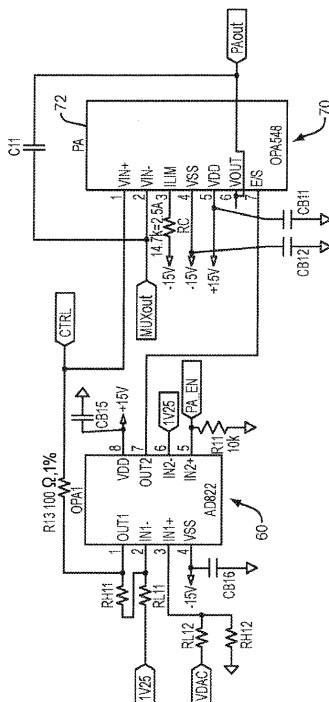


FIG. 5

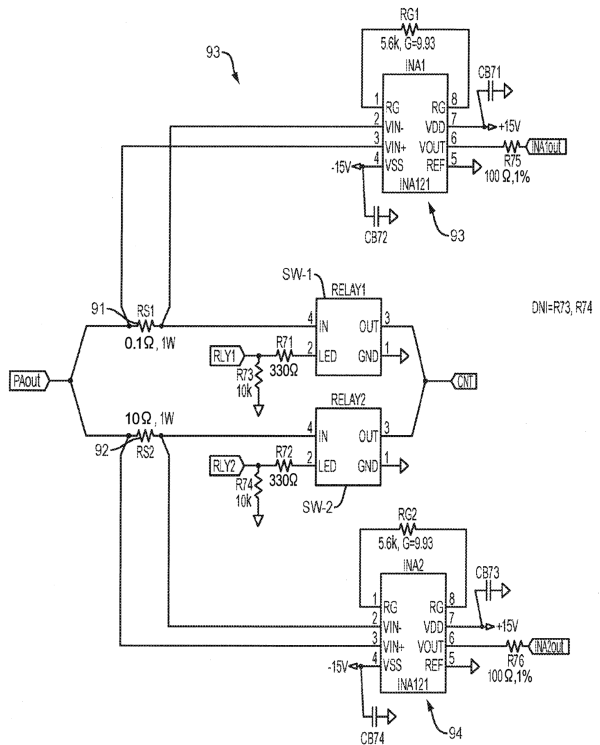
【図 6】



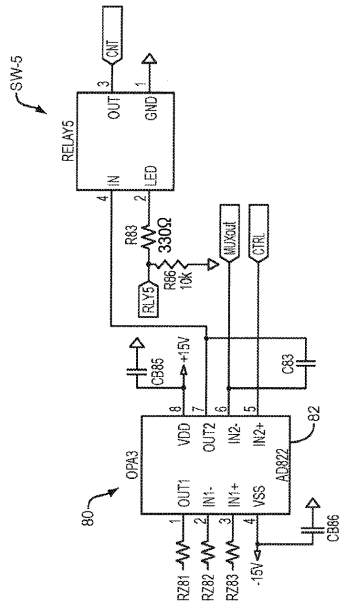
【図 7】



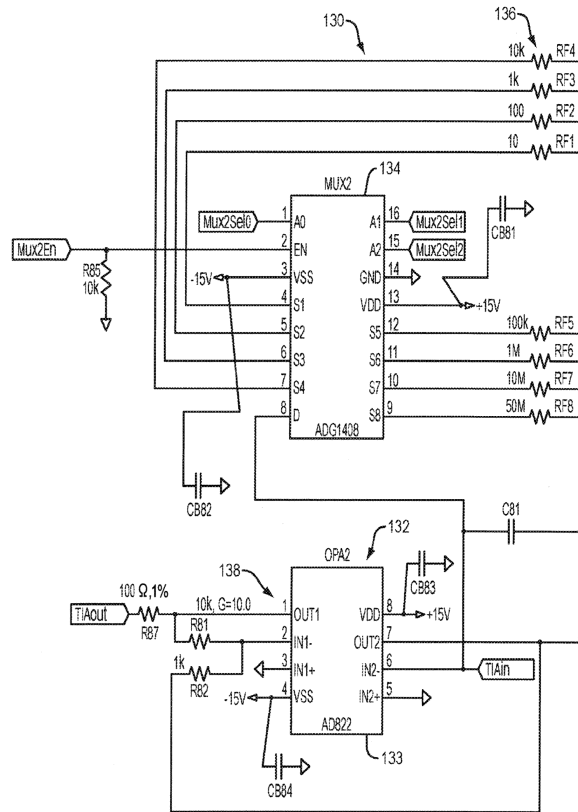
【図 8】



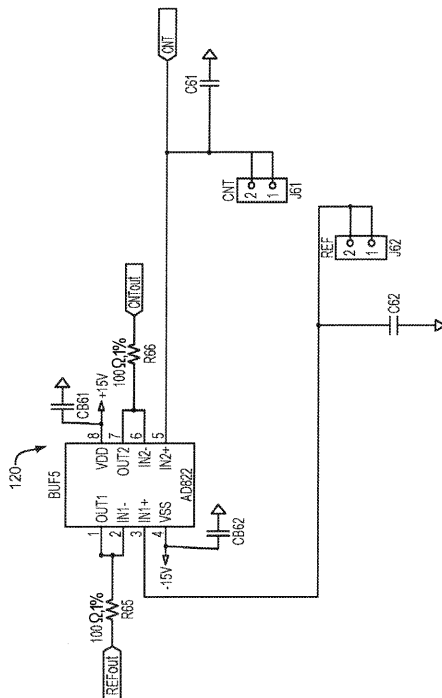
【図 9】



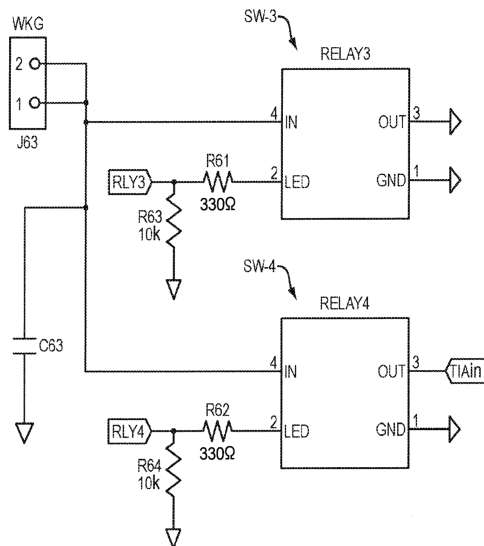
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 13】

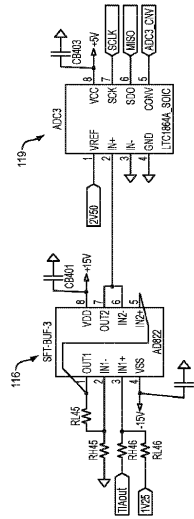


FIG. 13

【図 14】

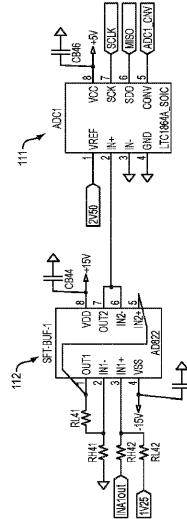


FIG. 14

【図 15】

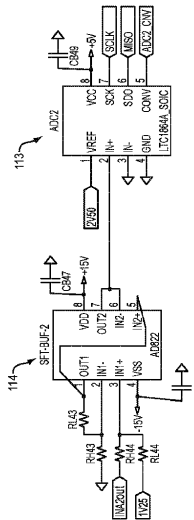


FIG. 15

【図 16】

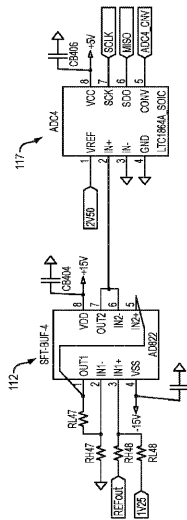
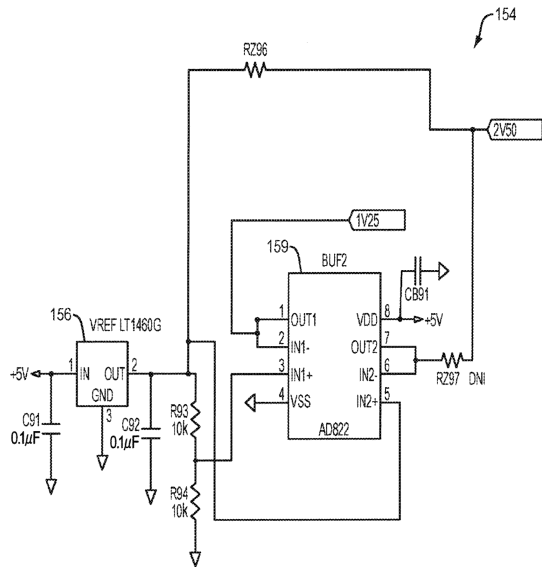


FIG. 16

【図 17】



【図 18】

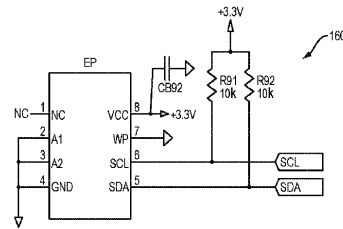


FIG. 18

【図 19】

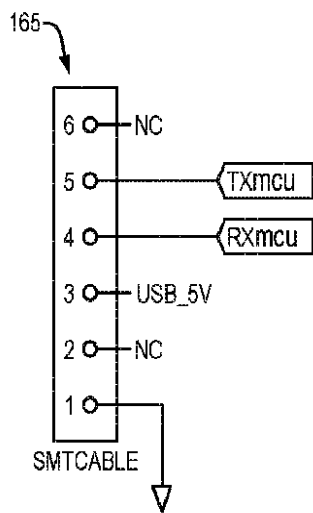
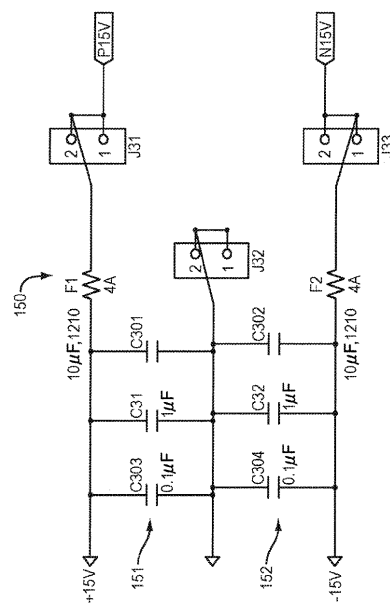
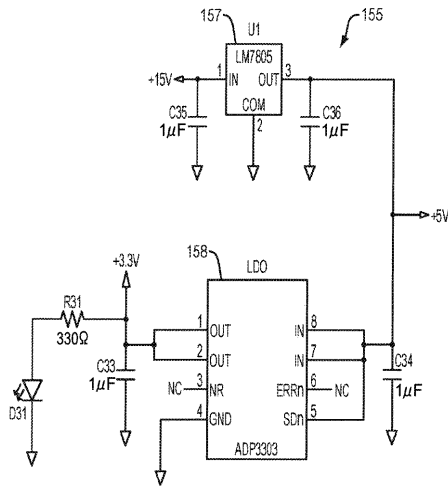


FIG. 19

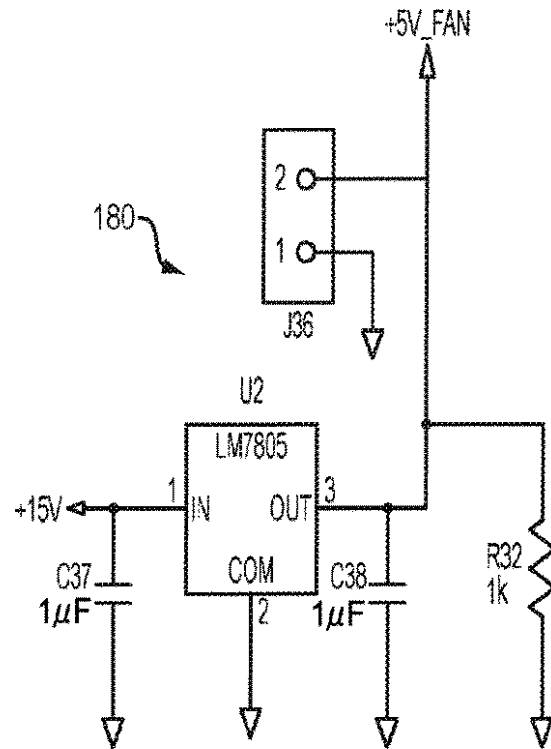
【図 20】



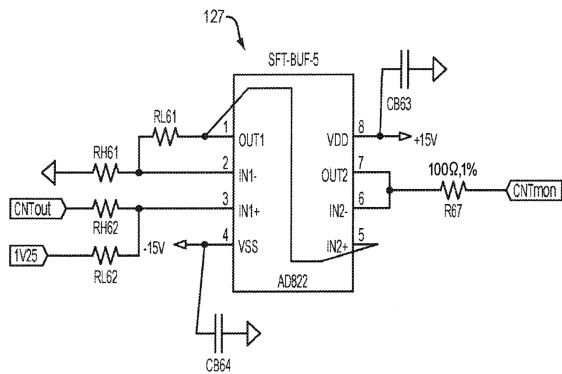
【図 2 1】



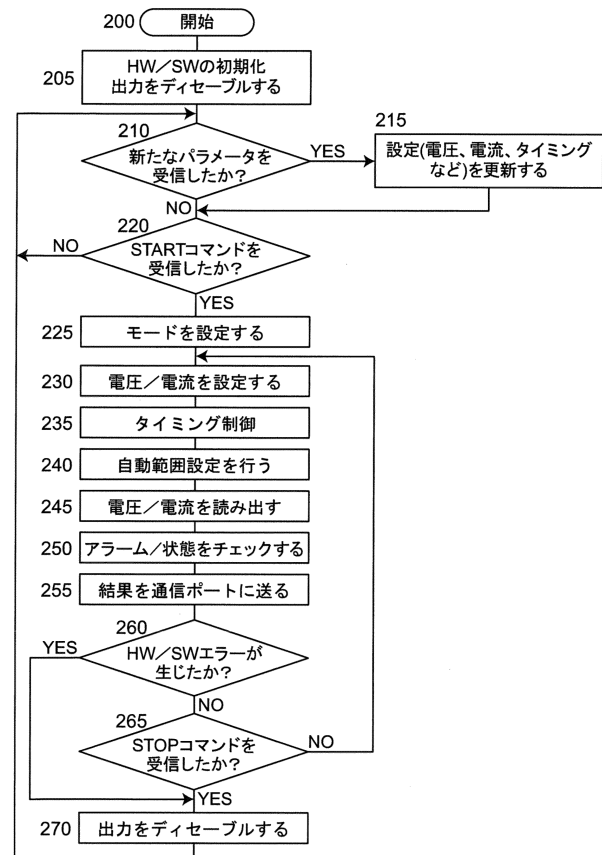
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ヤンジェ・チャイ

アメリカ合衆国07746ニュージャージー州マールボロ、ハミングバード・コート53番

審査官 櫃本 研太郎

(56)参考文献 特開2014-064394 (JP, A)

特開昭59-083797 (JP, A)

米国特許出願公開第2012/0205258 (US, A1)

米国特許第04628463 (US, A)

特開平11-083801 (JP, A)

特表2008-501115 (JP, A)

特表2014-506675 (JP, A)

特開2003-344354 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/26-27/49