

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5283762号
(P5283762)

(45) 発行日 平成25年9月4日(2013.9.4)

(24) 登録日 平成25年6月7日(2013.6.7)

(51) Int.Cl.		F I	
G06F	1/28	(2006.01)	G06F 1/00 333Z
G06F	1/32	(2006.01)	G06F 1/00 332Z
G06F	9/38	(2006.01)	G06F 9/38 310E
G06F	9/30	(2006.01)	G06F 9/30 350A

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2011-545869 (P2011-545869)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(86) (22) 出願日	平成21年12月14日(2009.12.14)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/070854	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(87) 国際公開番号	W02011/074059	(72) 発明者	呉 文豪 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(87) 国際公開日	平成23年6月23日(2011.6.23)	(72) 発明者	岡野 廣 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
審査請求日	平成24年6月6日(2012.6.6)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 演算処理装置、情報処理装置及びその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

命令を保持する命令保持部と、
前記命令保持部から取得した命令を解読する命令解読部と、
発行された命令を実行する演算部と、
前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出し、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑止する命令発行制御部と、
を有し、
前記命令発行制御部は、前記発行を抑止した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、
前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

前記消費電流予測値は、前記第2の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であることを特徴とする演算処理装置。

【請求項2】

命令を保持する命令保持部と、

前記命令保持部から取得した命令を解読する命令解読部と、
発行された命令を実行する演算部と、
前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出し、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑制する命令発行制御部と、
を有し、

前記命令発行制御部は、前記発行を抑制した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、

前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

、
前記消費電流予測値は、現サイクルにおける前記演算部の消費電流の予定値であることを特徴とする演算処理装置。

【請求項3】

命令を格納する記憶装置と、前記記憶装置に接続された演算処理装置とを有する情報処理装置において、

前記演算処理装置は、

前記記憶装置から取得した命令を保持する命令保持部と、

前記命令保持部から取得した命令を解読する命令解読部と、

発行された命令を実行する演算部と、

前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出し、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑制する命令発行制御部と、

を有し、

前記命令発行制御部は、前記発行を抑制した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、

前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

、
前記消費電流予測値は、前記第2の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であることを特徴とする情報処理装置。

【請求項4】

命令を格納する記憶装置と、前記記憶装置に接続された演算処理装置とを有する情報処理装置において、

前記演算処理装置は、

前記記憶装置から取得した命令を保持する命令保持部と、

前記命令保持部から取得した命令を解読する命令解読部と、

発行された命令を実行する演算部と、

前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出し、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑制する命令発行制御部と、

を有し、

前記命令発行制御部は、前記発行を抑制した命令の代わりに、前記演算部に対して消費

10

20

30

40

50

電流が異なる複数のダミー命令を発行し、

前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

、
前記消費電流予測値は、現サイクルにおける前記演算部の消費電流の予定値であることを特徴とする情報処理装置。

【請求項5】

命令を保持する命令保持部を有する演算処理装置の制御方法において、

前記演算処理装置が有する命令解読部が、前記命令保持部から取得した命令を解読するステップと、

前記演算処理装置が有する演算部が、発行された命令を実行するステップと、

前記演算処理装置が有する命令発行制御部が、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出するステップと、

前記演算処理装置が有する命令発行制御部が、前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑止するステップと、

を有し、

前記命令発行制御部は、前記発行を抑止した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、

前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

、
前記消費電流予測値は、前記第2の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であることを特徴とする演算処理装置の制御方法。

【請求項6】

命令を保持する命令保持部を有する演算処理装置の制御方法において、

前記演算処理装置が有する命令解読部が、前記命令保持部から取得した命令を解読するステップと、

前記演算処理装置が有する演算部が、発行された命令を実行するステップと、

前記演算処理装置が有する命令発行制御部が、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、前記解読された命令のうち第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出するステップと、

前記演算処理装置が有する命令発行制御部が、前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において前記解読された命令のうち一部の命令の発行を抑止するステップと、

を有し、

前記命令発行制御部は、前記発行を抑止した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、

前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり

、
前記消費電流予測値は、現サイクルにおける前記演算部の消費電流の予定値であることを特徴とする演算処理装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、演算処理装置、情報処理装置及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

プロセッサの技術として、以下の方法が知られている。すなわち、命令ごとに定義され

10

20

30

40

50

た電流消費量に相関のある値を用いて各クロックサイクルでの消費電流を予測し、その変化率が所定の値以上であれば変化量が小さくなるように命令を入れ替え、もしくはダミー命令に置き換える方法である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-334641号公報

【特許文献2】特開平10-207859号公報

【特許文献3】特開2004-13820号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】"The SPARC Architecture Manual", version 9, SPARC International, Inc., Santa Clara, California, SAV09R1459912

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

簡易な構成により確実に消費電流の変化を抑制し得る演算処理装置を提供することが目的である。

【課題を解決するための手段】

【0006】

命令を保持する命令保持部と、前記命令保持部から取得した命令を解読する命令解読部と、発行された命令を実行する演算部と、前記命令解読部によって解読された命令を前記演算部に発行するとともに、第1の所定期間に発行した命令によって前記演算部が消費した消費電流値と、第2の所定期間に発行可能な命令によって前記演算部が消費する電流の消費電流予定値とを算出し、前記消費電流値に対する前記消費電流予定値の変化量が所定の制限値を超える場合、前記第2の所定期間において一部の命令の発行を抑制する命令発行制御部と、を有し、前記命令発行制御部は、前記発行を抑制した命令の代わりに、前記演算部に対して消費電流が異なる複数のダミー命令を発行し、前記消費電流値は、前記第1の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値であり、前記消費電流予測値は、前記第2の所定期間における前記演算部の消費電流の平均値である。

【発明の効果】

【0007】

上記構成により、簡易な構成により確実に演算処理装置における消費電流の変化を抑制し得る構成を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】参考例のプロセッサにおける命令発行制御について説明するための、プロセッサの内部ブロック図である。

【図2】実施例のプロセッサにおける命令発行制御について説明するための、プロセッサの内部ブロック図である。

【図3】図2に示されるプロセッサの構成のうち、特に命令発行制御部および演算ユニットを抽出して示すブロック図である。

【図4】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための図(その1)である。

【図5】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための図(その2)である。

【図6】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための、電流値テーブルの構成例を示す図である。

【図7】実施例のプロセッサにおいて、命令の発行を制限する場合の例について説明する

10

20

30

40

50

ための図である。

【図 8】実施例のプロセッサにおいて、ダミー命令を発行する場合の例について説明するための図である。

【図 9】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための、プログラムにおける命令とアドレスとの関係の例を示す図である。

【図 10 A】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 1 における消費電流増加時、その 1）である。

【図 10 B】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 1 における消費電流増加時、その 2）である。

【図 11】図 10 A、図 10 B に記載されたフローチャートにおける動作の一部を実行する回路の構成例を示す図である。

10

【図 12】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 1 における消費電流減少時）である。

【図 13 A】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 2 における消費電流増加時、その 1）である。

【図 13 B】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 2 における消費電流増加時、その 2）である。

【図 14】実施例のプロセッサにおける命令発行制御の方法について説明するための動作フローチャート（モニタ手法 2 における消費電流減少時）である。

【図 15】実施例のプロセッサを適用可能な情報処理装置のハードウェア構成例を示すブロック図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に実施例について説明する。

【0010】

実施例では、演算処理装置としての、半導体集積回路であるプロセッサにおいて、命令発行数、発行頻度を制御することにより電源ノイズの抑制を図る。尚、演算処理装置の具体例として、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphical Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor) 等が挙げられる。

30

【0011】

プロセッサの低消費電力化技術は、情報通信機器の低消費電力化のために重要な技術である。プロセッサの低消費電力化においては、処理の実行に必要なレジスタにのみクロックを供給するクロックゲーティングや、処理の実行に必要な RAM (Random Access Memory) のみイネーブルにするなど、回路の動作率を抑える手法が有効である。しかしながらこれらの手法では、処理を実行している時と実行していない時との間の消費電流の差による電源ノイズの発生を防止するため、電流時間変化率である dI/dt を抑制することが望まれる。

【0012】

LSI (Large Scale Integrated circuit) 内部の電源ノイズの低減のための手法として、LSI 内部に容量成分を有するキャパシタセル又はデカップリング容量セルなどを搭載し、あるいはパッケージやシステムボード上にもデカップリングキャパシタを搭載する方法がある。しかしながらデカップリング容量セルを用いるとチップ面積の増加やリーク電流の増加などを引き起こすことが考えられる。

40

【0013】

また電源ノイズを低減するための回路制御方法として、回路の動作開始時にクロック周波数を低く抑えることで電流時間変化率 dI/dt を低く抑えるという手法がある。さらには、ソフトウェアのコンパイル段階で命令の消費電流を予測して、ソフトウェアで命令の発行を調整する手法がある。

【0014】

50

しかしながら上記回路の動作開始時にクロック周波数を低く抑えて電流時間変化率 dI/dt を低く抑える方法では、サイクルベースで電流変化量をモニタするのではなく、所定の期間をかけて段階的にクロック周波数を変化させながらクロック信号を供給する。このためクロック周波数に対する大きなマージンを入れないと大きな電流変化による電源ノイズに対応できない場合が考えられる。また小さいノイズに対し過剰にクロック周波数を遅らせる事態も想定される。すなわちこの方法ではノイズに応じてクロック周波数を調整するものではないため、制御精度が低いと考えられる。

【0015】

また上記ソフトウェアのコンパイル段階で命令の消費電流を予測して、命令の順序を変える等、ソフトウェアで命令の発行を調整する方法では、ソフトウェアでスケジューリングするためオブジェクトコードが大きくなると考えられる。またサイクルベースで命令の依存性を全て把握できるコンパイラが必要になることから実現が困難と考えられる。またパイプライン・インターロックなどの場合においてソフトウェアでは対応できない場合が想定される。ここでパイプライン・インターロック(pipeline interlock)とは、ハザード(hazard)を検出して回避する機構である。データ依存に係わるハザード(data dependent hazard)は、複数の命令が入り乱れて処理されるために、演算結果の書き込みや読み出しが機械語のプログラマが意図した順序とは前後してしまい、期待と異なった結果になってしまう状況をいう。ハザードを検出してパイプラインを停止することをパイプライン・インターロックという。パイプライン・インターロックでは命令の実行が停止されるため消費電流が減少することになり、このような消費電流の減少を緩和するために、"ダミー命令のみを実行するダミー回路"を使用する。ここで「ダミー命令」とは後続の実行命令に影響を与えない命令であり、「ダミー回路」は「ダミー命令」を実行して電流を消費し、消費電流の減少を緩和する回路である。特に大規模なシステムではパイプライン・インターロックによる消費電流の減少に対応するダミー回路の規模が大きくなり、チップ面積の増加、消費電力等の増加等が考えられる。

【0016】

次に以下に説明する実施例との比較のため、演算処理装置の参考例について説明する。図1は演算処理装置の参考例としてのプロセッサの内部構成を示すブロック図である。図1のプロセッサは例えばSPARC(Scalable Processor Architecture)プロセッサであり、命令キャッシュ(命令保持部)11、デコーダ(命令解読部)12、命令発行制御部13および演算機構14を有する。演算機構14は演算ユニット(演算部)14A, 14B, 14C, 14Dを含む。

【0017】

命令キャッシュ11はプログラムを保存するキャッシュメモリである。デコーダ12はプログラムに含まれる命令をデコード(解読)する。命令発行制御部13は命令を演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dに対し発行する。演算ユニット(ALU, Arithmetic and Logic Unit)14A, 14B, 14C, 14Dは、発行された命令を実行する。また複数の演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dが夫々演算機能を分担する。例えば演算ユニット14Aは固定小数点の加減算、演算ユニット14Bは固定小数点の積算、演算ユニット14Cは浮動小数点の加減算、演算ユニット14Dは浮動小数点の積算を夫々実行するものとすることができる。なおこの例に限られることはなく、例えば複数の演算ユニットのうち2以上の演算ユニットは同一の演算機能を実行するものとしてもよい。以下に当該プロセッサにおける動作のうち、特にプログラムの命令の発行に係る動作について説明する。

【0018】

デコーダ12は命令キャッシュ11から命令をフェッチ(取得)してデコードし、命令発行制御部13に渡す。命令発行制御部13は、デコーダから渡された命令の演算ユニット14A~14Dへの発行を行う。より具体的には、命令発行制御部13はデコーダ12から渡された命令を内部レジスタ(図示を省略)に保持し、発行可能な命令を保持している内部レジスタ内のエントリを識別する。命令発行制御部13は識別したエントリに保持

10

20

30

40

50

された命令から発行する命令を選択する。実際に発行する命令の選択は、エントリに保持された命令を実行可能な演算ユニット毎に行う。その際、同一の演算ユニットが実行可能な命令間には優先順位をつけ、当該優先順位の順番で、発行する命令を選択する。命令発行制御部13は選択した命令を、対応する演算ユニットに対して発行し、当該命令の発行後は対応するレジスタのエントリを解放する。

【0019】

上記参考例のプロセッサでは、命令発行制御部13が命令を発行する際に、演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dが命令を実行する際の消費電流の変化を特に考慮しないため、電源ノイズが発生する可能性がある。

【0020】

実施例は電源ノイズの発生を防止する構成を有する。実施例によるプロセッサによれば、過去何サイクルかの間に発行された命令によって消費された電流の見積り値を記憶する。ここで上記見積り値はプロセッサ全体が消費する電流の見積り値である。そして記憶した電流値に対する、現サイクルで発行可能な命令から概算される消費電流値の増加量を計算する。そして計算された増加量がプロセッサの許容電流変化量(制限値と称する)を超えるかどうかを判定し、制限値を超える場合には、制限値を超えないように命令の発行を制限する。この制限値は、ノイズ解析シミュレーションの結果から、あるいは測定値から調べて得ることができる。

【0021】

あるいは実施例によるプロセッサでは、過去何サイクルかの間に発行された命令によって消費された電流の見積り値を記憶し、当該電流値に対する、現サイクルで発行可能な命令から概算される消費電流値の減少量を計算する。計算された減少量がプロセッサの制限値を超えるかどうかを判定し、超える場合に制限値を超えないようにダミー命令を発行する。

【0022】

ダミー命令として、例えば、SPARCのアーキテクチャの場合、Global register zero (g0)を利用し、g0を演算結果の格納レジスタであるデスティネーションとする命令等、プログラムの実行に影響が及ばない既存命令を適用することができる。あるいは、既存の回路を動かすだけでプロセッサの状態を変更しないような新規のダミー命令を定義して適用してもよい。ダミー命令は、制限値を越えない限り、できるだけ消費電流を大きく変化させる命令であることが望ましい。ここでGlobal register zero (g0)とは、読み出すと常に"0"が得られ、書き込んでも値が変わらないグローバルレジスタをいう。

【0023】

あるいは実施例による命令発行装置では、過去何サイクルかの間に発行された命令もしくはそれらの命令によって消費される電流の見積り値を記憶する。そして当該電流値に対する、現サイクルで発行可能な命令から概算される電流値の増加量を計算する。計算された増加量がプロセッサの制限値を超えるかどうかを判定し、超える場合に制限値を超えないように命令の発行を制限する。

【0024】

あるいは実施例による命令発行装置では、過去何サイクルかの間に発行された命令もしくはそれらの命令によって消費される電流の見積り値を記憶する。そして当該電流値に対する、現サイクルで発行可能な命令から概算される電流値の減少量を計算する。計算された減少量がプロセッサの制限値を超えるかどうかを判定し、超える場合に制限値を超えないように、後続の実行命令に影響を与えないダミー命令を発行する。

【0025】

又、実施例では、 $P(t) > P(t-1, t-N)$ の場合には、 $P(t) - P(t-1, t-N) + P1$ の条件が満たされるよう、現サイクルでの命令の発行を制限する。ここで変数 t は現サイクル、 $P(t-1, t-N)$ は過去 N サイクルの命令から見積もられる平均消費電流、 $P1$ はプロセッサで許容される制限値、 $P(t)$ は現サイクルで発行

10

20

30

40

50

可能な命令から見積もられる消費電流値を、夫々示す。

【0026】

又、実施例では、 $P(t) < P(t-1, t-N)$ の場合には $P(t) = P(t-1, t-N) - P2$ の条件が満たされるよう、現サイクルにおいて、後続の実行命令に影響を与えないダミー命令を発行する。ここで上記同様、変数 t は現サイクル、 $P(t-1, t-N)$ は過去 N サイクルの命令から見積もられる平均消費電流、 $P2$ はプロセッサで許容される制限値、 $P(t)$ は現サイクルで発行可能な命令から見積もられる消費電流値を、夫々示す。

【0027】

図2は実施例による演算処理装置としてのプロセッサの内部構成を説明するためのブロック図である。図2のプロセッサは例えばS P A R Cプロセッサであり、命令キャッシュ11、デコーダ12、命令発行制御部13Xおよび演算機構14を有する。演算機構14は演算ユニット14A、14B、14C、14Dを含む。

10

【0028】

命令キャッシュ11はプログラムを保存するキャッシュメモリである。デコーダ12はプログラムに含まれる命令をデコードする。命令発行制御部13Xは命令を演算ユニット14A、14B、14C、14Dに対し発行する。演算ユニット(A L U, A r i t h m e t i c a n d L o g i c U n i t) 14A、14B、14C、14Dは発行された命令を実行する。尚上記の如く、演算ユニット14A、14B、14C、14Dは夫々が演算機能を分担する。

20

【0029】

実施例によれば、プロセッサにおける命令発行機構(すなわちプロセッサにおける命令発行制御部13X)が、従来の命令発行制御部の機能を有する命令発行制御機能部13Rに加え、電流変化計算部13Cおよび命令発行調整部13Aを有する。電流変化計算部13Cは発行される命令の種類・発行数に基づいて電流変化を計算し、計算された電流変化が予め設定した閾値を超えるとときに命令発行を制限する指示を出力する。命令発行調整部13Aは当該指示を受け、発行する命令を制限する。その結果、電流時間変化率 dI/dt による電源ノイズを低減することができる。

【0030】

以下に図2のプロセッサにおける動作のうち、特に命令の発行に係る動作について説明する。デコーダ12は命令キャッシュ11から命令をフェッチし、デコードして命令発行制御部13Xに渡す。命令発行制御部13Xでは、デコードした結果から、命令発行制御機能部13Rが発行可能な命令を選択し、選択された命令に対し、電流変化計算部13Cが、以下のような消費電流変化に基づく発行制御を行う。

30

【0031】

命令発行制御部13Xの電流変化計算部13Cは、発行可能な命令を保持している内部レジスタのエントリを識別する。そして識別されたエントリに保持された、発行可能な命令の種類、数量などに基づき、演算ユニット14A、14B、14C、14Dが発行可能な命令を実行する際の消費電流値を計算する。電流変化計算部13Cは更に、命令数・種類から過去数サイクル分の平均消費電流を計算する。当該過去の平均消費電流に対する、発行可能な命令を実行する際の消費電流値の変化量(単に変化量とも言う)が特定の閾値(すなわち制限値 I)を超えない範囲内で所定の期間内に発行可能な最大命令数を決め、命令発行調整部13Aに渡す。上記所定の期間は、本実施例の場合、1サイクルである。当該所定の期間は1サイクルに限られず、例えば数サイクルとすることもできる。尚、実施例のようにスーパースカラ方式のプロセッサの場合、同時発行可能な命令数の上限がハードウェアとして定められており、同時発行可能な命令数は当該上限以下であることが前提である。実施例のプロセッサにおいては、演算ユニット14A、14B、14C、14Dの個数が4であるため、同時に発行可能な命令数の上限は4である。

40

【0032】

命令発行調整部13Aは所定の期間内で発行可能な最大命令数を受け、演算ユニット1

50

4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D のうちの、発行する個々の命令に対応する夫々の演算ユニットに基づき、実際に発行する命令を選択する。また同時に発行することができる命令が複数ある場合、複数の命令の間に優先順位をつけ、優先順位に従って、1 サイクル当たりに発行する命令数が発行可能な最大命令数に収まるよう、命令を選択する。尚、優先順位の決め方としては、例えば現在発行可能な命令のうちプログラム中の実行順序が先のもの(分岐命令を挟まなければ主記憶装置にプログラムが格納された場合に、アドレスの小さいもの)から順に、すなわちプログラムにおける命令の出現順に基づいて発行するようにすることができる。あるいは1 サイクル当たりに発行する命令数をそのまま維持し、複数サイクルのうちの1 サイクルでしか命令を発行しないようにして命令発行の頻度を制限することで発行する命令数を制限するようにしてもよい。そして命令発行制御部 1 3 X は、このようにして必要に応じて命令の発行数が制限された態様で、演算ユニット 1 4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D のうちの、対応する演算ユニットに対し命令を発行する。その後命令発行制御部 1 3 X は、発行した命令のエントリを解放する。このようにして制限値を超えない範囲でなるべく多くの命令を発行するようにする。

10

【 0 0 3 3 】

すなわち電流変化計算部 1 3 C はデコーダ 1 2 と演算ユニット 1 4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D との間に設けられ、図 3 に示される如く、計算部 1 3 C C , 命令モニタ 1 3 M , および電流テーブル 1 3 T を有する。命令モニタ 1 3 M は現時点までの所定数のサイクルに発行された命令の種類や発行数をモニタする。電流テーブル 1 3 T は、命令の種類ごとに、対応する電流予測値を保存する(後述する図 6 参照)。尚、電流テーブル 1 3 T は上記の如く命令の種類に応じて電流予測値を保持してもよいし、あるいは命令の種類によらず、1 命令当たりの電流値を保持するようにしてもよい。保存する命令の種類、電流予測値は、当該プロセッサが搭載された L S I の動作時に調整可能なように、プログラムから可変な構成としてもよい。また上記命令の種類に応じた電流予測値は、例えば L S I の設計時に電力シミュレーションを行って予め求めることができる。または、実際に製造されたチップにおけるプロセッサ全体の消費電力を測定することで各命令の消費電力を求めて設定することもできる。

20

【 0 0 3 4 】

電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C は、命令モニタ 1 3 M が保存している所定数のサイクル分の命令履歴と、現在発行可能な命令とを用い、電流テーブル 1 3 T を参考し、消費電流の変化量を予測する。消費電流が増加し、消費電流の変化量としての電流の増加量が制限値を超える場合、命令発行調整部 1 3 A は、増加量が制限値以下に収まるように、発行可能な最大命令数を求め、発行可能な最大命令数と電流計算結果とを出力する。すなわちこの場合、現在発行する命令の発行を制限することにより演算ユニット 1 4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D における消費電流を減らし、制限値以内に納める。他方電流が減少し、消費電流の変化量としての電流の減少量が制限値を超える場合、命令発行調整部 1 3 A は、減少量が制限値以下に収まるように、必要なダミー命令の発行数を求め、必要なダミー命令の発行数と電流計算結果とを出力する。すなわちこの場合、プログラムに元から存在する命令に加えて、ダミー命令の発行により演算ユニット 1 4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D における消費電流を増加させ、制限値以内に納める。

30

40

【 0 0 3 5 】

命令発行調整部 1 3 A は、電流変化計算部 1 3 C から出力される発行可能な最大命令数あるいは必要なダミー命令の発行数に従い、所定の期間内に命令発行制御部 1 3 X から発行する命令を制限し、あるいは必要な発行数だけダミー命令を発行する。

【 0 0 3 6 】

実施例によれば、プロセッサの命令発行制御部 1 3 X に、電流変化計算部 1 3 C 、命令発行調整部 1 3 A を設けることにより、実際に実行される命令に応じた、より精度の高い電流変化制御が可能になる。

【 0 0 3 7 】

以下、消費電流変化の計算手法の例について説明する。消費電流変化の計算手法として

50

モニタ手法 1 およびモニタ手法 2 があり、モニタ手法 1 およびモニタ手法 2 のうちのいずれを使用しても良い。

【 0 0 3 8 】

まず図 4 とともにモニタ手法 1 について説明する。モニタ手法 1 では、直前の X 個のサイクルの命令数あるいは命令発行頻度に基づき、現在のサイクルにおける命令発行数あるいは命令発行頻度を制御する。以下に具体例を説明する。

【 0 0 3 9 】

許容する最大電流変化値（すなわち制限値） I は予め電流変化計算部 1 3 C に設定しておく。電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C が命令モニタ 1 3 M および電流テーブル 1 3 T を参照し、直前の X 個のサイクルに発行した命令の電流予測値の平均を計算する（計算結果を A とする）。更に現在発行可能な命令の電流予測値も計算する（計算結果を B とする）。次に電流値の差分 $B - A$ を計算し、もし $B - A > I$ であれば、電流変化計算部 1 3 C から、命令発行調整部 1 3 A に対し、次に発行可能な最大命令数を渡す。他方 $B - A < - I$ であれば、電流変化計算部 1 3 C から、命令発行調整部 1 3 A に対し、必要なダミー命令の発行数を指示する。消費電流変化の計算は 1 サイクル毎に行うようにしてもよいし、あるいは一定サイクル期間毎に行ってもよい。ここで一定サイクル期間毎に行う方法とは、毎サイクルに消費電流変化の計算を行わず、所定数のサイクル毎に電流変化の計算を行う方法である。

【 0 0 4 0 】

次に図 5 とともにモニタ手法 2 について説明する。モニタ手法 2 では、現在のサイクルを含めた、現在と直前の X 個のサイクルの命令数あるいは命令発行頻度と、更に前の X 個のサイクルの命令数あるいは命令発行頻度とに基づき、現在のサイクルにおける命令発行数あるいは命令発行頻度を制御する。以下に具体例を説明する。

【 0 0 4 1 】

モニタ手法 2 においても、許容する最大電流変化値（すなわち制限値） I を予め電流変化計算部 1 3 C に設定しておく。電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C が、命令モニタ 1 3 M および電流テーブル 1 3 T を参照し、現在のサイクルを含めた、現在と直前の X 個のサイクルに発行した命令の電流予測値の平均（又は和）（A とする）と、更に前の X 個のサイクルに発行した命令の電流予測値の平均（又は和）（B とする）とを夫々計算し、相互に比較する。もし $B - A > I$ であれば、電流変化計算部 1 3 C から、命令発行調整部 1 3 A に対し、現在発行可能な最大命令数を渡す。もし $B - A < - I$ であれば、電流変化計算部 1 3 C から、命令発行調整部 1 3 A に対し、必要なダミー命令の発行数を指示する。上記 X の値は、対処すべき電源ノイズの周波数帯域に応じて設定する。尚、高周波帯域のノイズはチップに実装されるデカップリング容量セル等により除去するものとし、よって上記対処すべき電源ノイズの周波数帯域は中低周波数の帯域である。一般に周波数の高いノイズは周期が短く、周波数の低いノイズは周期が長い。このため、上記 X の値を対処すべき電源ノイズの周波数帯域に応じて適宜調整することにより、当該電源ノイズをモニタすることができる。尚、この場合も消費電流変化の計算は 1 サイクル毎に行うようにしてもよいし、一定サイクル期間毎に行う方法としてもよい。ここで一定サイクル期間毎に行う方法とは、毎サイクルに消費電流変化の計算を行わず、所定数のサイクル毎に消費電流変化の計算を行う方法である。

【 0 0 4 2 】

次に、図 6、図 7 とともに、上記モニタ手法 1 を適用した場合の具体的な動作例を用いて、上述の実施例のプロセッサにおける、消費電流増加時の動作説明を行う。

【 0 0 4 3 】

図 6 は上記電流テーブル 1 3 T の一例を示す。当該例の場合電流テーブル 1 3 T には、各命令の種類 $I n s t 1$ 、 $I n s t 2$ 、 \dots 、 $I n s t 8$ が格納されている。更に電流テーブル 1 3 T には、当該種類の命令の各々を上記 4 個の演算ユニット 1 4 A ~ 1 4 D のうちの対応する演算ユニットが実行した場合の消費電流値として、 300 、 200 、 \dots 、 250 [μA] が夫々格納されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

また電流変化計算部 1 3 C において、電流変化制限値（単に制限値とも言う）として $P_1 = 500 [\mu A]$ が設定されているものとする。また上記の如く、当該プロセッサにおいて同時に発行可能な命令数は最大 4（# 1, # 2, # 3, # 4）である。

【 0 0 4 5 】

図 7 は、S 1, S 2, S 3 の各時点における、過去の 5 サイクル（「 5 」～「 1 」）で発行した命令と、現在のサイクル（「 0 」）において発行可能な命令を示す。例えば図 7、上段の時点 S 1 では、過去 5 サイクルで発行された命令は無く、現在発行可能な命令は $I n s t 1, I n s t 2, I n s t 3, I n s t 4$ であることが示されている。

【 0 0 4 6 】

また、図 7 中、同時に発行可能な命令 # 1, # 2, # 3, # 4 の各々を実行しない場合の 1 命令当たりの消費電流値を夫々 $20 [\mu A]$ とする。

【 0 0 4 7 】

また、モニタ期間を $N = 4$ [サイクル] と設定する。図 7 の時点 S 1 の場合、過去 4 サイクル（「 4 」～「 1 」）では、同時に発行可能な命令 # 1, # 2, # 3, # 4 のいずれも実行されていない。このため、その間の演算ユニット 1 4 A, 1 4 B, 1 4 C, 1 4 D の消費電流（単に消費電流とも言う）は、 $20 \times 4 \times 4 = 320 [\mu A]$ であり、過去 4 サイクルにおける 1 サイクル当たりの平均消費電流 $P(t-1, t-4)$ は $320 / 4 = 80 [\mu A]$ と得られる。他方現在発行可能な命令 $I n s t 1, I n s t 2, I n s t 3, I n s t 4$ の消費電流値 $P(t)$ は $300 + 200 + 250 + 150 = 900 [\mu A]$ と得られる。その結果、変化量は $P(t) - P(t-1, t-4) = 820 [\mu A]$ となり、制限値 $P_1 = 500 [\mu A]$ より、 $320 [\mu A]$ 大きい。したがって当該 4 サイクルのモニタ期間の次のサイクルにおける命令発行数を制限する。その結果命令発行調整部 1 3 A では制限された命令を発行する。図 7 の例では、アドレス順に、命令 $I n s t 1, I n s t 2$ 命令が選択される（発行可能な最大命令数 = 2）。これは、更に命令 $I n s t 3$ を選択した場合、合計 3 個の命令 $I n s t 1, I n s t 2, I n s t 3$ を発行した場合の変化量は、 $300 + 200 + 250 + 20 - 80 = 690 [\mu A]$ となり、制限値 $500 [\mu A]$ を超えるからである。この場合結果的に現在発行可能な 4 個の命令 $I n s t 1, I n s t 2, I n s t 3, I n s t 4$ のうち、アドレス順が早い 2 個の命令 $I n s t 1, I n s t 2$ を発行し、残りの 2 個の命令 $I n s t 3, I n s t 4$ の発行を、次サイクル以降に遅らせる（図 7 の中段の時点 S 2）。

【 0 0 4 8 】

次に図 7 の中段の時点 S 2 の場合、現在発行可能な命令は 4 命令 $I n s t 5, I n s t 6, I n s t 3, I n s t 4$ である。このうち 2 命令 $I n s t 3, I n s t 4$ は上記の如く前のサイクルで発行が遅らされたものであり、他の 2 命令 $I n s t 5, I n s t 6$ は新たに命令発行制御部 1 3 X に与えられた命令である。この場合、過去 4 サイクルのモニタ期間における平均電流値 $P(t+1-1, t+1-4)$ は $(20 \times 4 \times 3 + 20 \times 2 + 300 + 200) / 4 = 195 [\mu A]$ と得られる。他方、発行可能な上記 4 命令 $I n s t 5, I n s t 6, I n s t 3, I n s t 4$ の消費電流値 $P(t+1)$ は $250 + 200 + 250 + 150 = 850 [\mu A]$ と得られる。その結果変化量は $P(t+1) - P(t+1-1, t+1-4) = 655 [\mu A]$ となり、制限値 $P_1 = 500 [\mu A]$ より $155 [\mu A]$ 大きい。したがって 当該 4 サイクルのモニタ期間の次のサイクルにおける命令発行数を制限する。命令発行調整部 1 3 A は発行数が制限された命令を発行する。図 7 の例では、アドレス順で 3 命令 $I n s t 3, I n s t 4, I n s t 5$ が選択される（発行可能な最大命令数 = 3）。結果として当該 3 命令 $I n s t 3, I n s t 4, I n s t 5$ が発行され、残りの 1 命令 $I n s t 6$ が次サイクル以降に遅らされる（図 7 の下段の時点 S 3）。

【 0 0 4 9 】

尚、制限値を超えた分の電流の大きさに基づいて、発行可能な最大命令数が異なるような構成とすることも可能である。また発行する命令の選択に関しては上記の如く、命令の

10

20

30

40

50

アドレス順に選択するものとする。このようにして制限値を越えない範囲で可能な限り多くの命令を同時発行するように調整する。また前のサイクル以前で遅らせた命令を優先的に発行するようにしてもよい。

【 0 0 5 0 】

次に、図 6、図 8 とともに、上記モニタ手法 1 を適用した場合の具体的な動作例を用いて、上述の実施例のプロセッサにおける、消費電流減少時の動作説明を行う。

【 0 0 5 1 】

電流変化計算部 1 3 C において、制限値を上記 P 1 同様、 $P 2 = 5 0 0 [\mu A]$ と設定し、同時に発行可能な命令数も上記同様最大 4 とする。また上記同様、同時に発行可能な命令 # 1 , # 2 , # 3 , # 4 の各々が実行されない場合の消費電流を、命令 1 個当たり $2 0 [\mu A]$ とする。又、上記同様モニタ期間 $N = 4 [\text{サイクル}]$ と設定する。

【 0 0 5 2 】

図 8 の最上段の時点 S 1 1 において、過去 4 サイクル (「 4 」 ~ 「 1 」) のモニタ期間に発行された命令が命令モニタ 1 3 M によりモニタされる。図 6 の電流テーブル 1 3 T の例を参照すると、過去 4 サイクルの平均電流値 $P (t - 1 , t - 4)$ が $9 2 5 [\mu A]$ と得られる。他方現在 (サイクル 「 0 」) 発行可能な命令が特にないため、電流値 $P (t)$ は $8 0 [\mu A]$ と得られる。その結果変化量は $P (t - 1 , t - 4) - P (t) = 8 4 5 [\mu A]$ と得られ、制限値 $P 2 = 5 0 0 [\mu A]$ より、 $3 4 5 [\mu A]$ 大きい。したがって電流変化計算部 1 3 C は必要なダミー命令の発行数を決定し、命令発行調整部 1 3 A にわたす。図 6 の電流テーブル 1 3 T によれば、ダミー命令 (dummy) 1 個当りの消費電流値 = $2 0 0 [\mu A]$ である。したがって変化量を $3 4 5 [\mu A]$ 以下に納めるためには、 $2 0 0 < 3 4 5 + 2 0 [\mu A]$ 、 $2 0 0 \times 2 = 4 0 0 > 3 4 5 + 2 0 \times 2 [\mu A]$ であるので、ダミー命令が 2 個必要となる。したがって同時に発行可能な命令のうちの命令 # 1、# 2 としてダミー命令を夫々 2 個 (dummy , dummy) 発行するよう、必要なダミー命令の発行数 = 2 として、命令発行調整部 1 3 A に指示する。命令発行調整部 1 3 A は指示に従って同時に発行可能な命令のうちの # 1、# 2 としてダミー命令を夫々 2 個 (dummy , dummy) 発行する (図 8 の中断の時点 S 1 2) 。

【 0 0 5 3 】

更に図 8 の中断の時点 S 1 2 では、次のサイクル (「 0 」) にも発行可能な命令がない。したがって、過去 4 サイクルの平均電流値 $P (t + 1 - 1 , t + 1 - 4)$ は $7 9 7 . 5 [\mu A]$ 、現在発行可能な命令の電流値 $P (t + 1)$ は $8 0 [\mu A]$ と得られる。その間の変化量は $P (t + 1 - 1 , t + 1 - 4) - P (t + 1) = 7 1 7 . 5 [\mu A]$ と得られ、制限値 $P 2 = 5 0 0 [\mu A]$ より $2 1 7 . 5 [\mu A]$ 大きい。変化量を $2 1 7 . 5 [\mu A]$ 以下に納めるためには、 $2 0 0 < 2 1 7 . 5 + 2 0 [\mu A]$ 、 $2 0 0 \times 2 = 4 0 0 > 2 1 7 . 5 + 2 0 \times 2 [\mu A]$ であるので、ダミー命令が 2 個必要となる。したがって同時に発行可能な命令のうちの # 3、# 4 としてダミー命令を 2 個 (dummy , dummy) 発行するよう、必要なダミー命令の発行数 = 2 として、命令発行調整部 1 3 A に指示する。命令発行調整部 1 3 A は指示に従って同時に発行可能な命令のうちの # 3、# 4 としてダミー命令を夫々 2 個 (dummy , dummy) 発行する (図 8 の下段、時点 S 1 3) 。

【 0 0 5 4 】

次に図 9 乃至図 1 4 とともに、上述の実施例によるプロセッサにおける、消費電流変化に基づいた命令発行制御の動作を説明するためのフローチャートについて説明する。

【 0 0 5 5 】

図 9 は、デコーダ 1 2 から命令発行制御部 1 3 X に渡される命令 $I n s t (1)$ 、 $I n s t (2)$ 、 \dots 、 $I n s t (M)$ の夫々の消費電流値 I と、プログラム中のアドレス (i) との関係を示す。消費電流値 I は、図 6 に示す如くの、電流テーブル 1 3 T によって得るものとする。

【 0 0 5 6 】

図 1 0 A は、モニタ手法 1 で消費電流が増加する際の動作フローチャート (その 1) で

10

20

30

40

50

ある。図10A中、ステップS21で、命令キャッシュ11からフェッチされた命令が、デコーダ12でデコードされる。ステップS21R, S22で、命令発行制御部13Xの命令発行制御機能部13Rは、デコードされた命令から、同時発行可能なM個の命令Inst(1)、Inst(2)、...、Inst(M)を選択する。以後命令発行制御部13Xは、ステップS23, S24, S26、S27のループ動作を行う。当該ループ動作では、iが初期値Mから順に1ずつ減少し、i=1となる迄の間、ステップS26の判断結果がYESとなると当該ループ動作が終了する。

【0057】

ステップS24では、電流変化計算部13Cの計算部13CCにより、上記M個の命令のうち1番目からi番目までの命令Inst(1)、Inst(2)、...、Inst(i)につき、消費電流の合計P(t)が算出される。ステップS25では、電流変化計算部13Cの計算部13CCにより、過去のNサイクル分の消費電流の平均値P(t-1, t-N)が算出される。そしてステップS26では、上記i番目の命令までの消費電流の合計P(t)と、過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値とが比較される。

10

【0058】

その結果、i番目の命令までの消費電流の合計P(t)が、過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値以下となる(YES)まで、上記ループ動作が継続される。ここでiの初期値はMであり、最初、上記i番目の命令までの消費電流の合計P(t)はM個の命令分の消費電流である。この時点で当該P(t)が過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値以下(YES)であれば、ループ動作を終了し(ステップS27)、電流変化計算部13Cは発行可能な最大命令数=Mを命令発行調整部13Aに通知する。命令発行調整部13Aは上記の如く優先順位に従って、演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dのうちの対応するものに対し、命令を発行する。ここで優先順位には上記の如く、同時に発行することができる命令が複数ある場合の複数の命令の間の優先順位が含まれる。

20

【0059】

他方上記最初の時点で上記P(t)が過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値を超える(NO)場合、ループ動作が継続される。そして上記の如く、P(t)が過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値以下となった場合(YES)、ループ動作が終了される。その結果、現在発行可能なM個の命令のうちアドレスが大きい方から順に一命令ずつ順次減らされて行き、算出されたP(t)が過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値以下となるまで減らされる。したがって発行可能なM個の命令のうちアドレスが小さい方から順に選んで行き、P(t)が過去の平均電流値P(t-1, t-N)に制限値P1を加えた値を超える直前までの(1乃至i番目の)命令が、最終的に選択される。そして当該最終的に選択された命令の情報が、命令発行調整部13Aに渡される。命令発行調整部13Aは当該最終的に選択された1乃至i番目の命令を、現サイクルにおいて演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dに発行する(ステップS28)。なおステップS24のIxは、現サイクルにおける各命令当りの消費電流値を表す(図9参照)。

30

40

【0060】

尚、図10Aの場合ループ動作を行っているが、同様の結果を得る目的で例えば図11の回路を用いることができる。図11の回路は、加算器A1, A2, A3と、比較器C1, C2, C3, C4とを有する。制限値P1が比較器C1, C2, C3, C4の各々が有する一方の入力に入力される。また図11の例の場合、M個の発行可能な命令として、説明の便宜上、4個の命令(addr1の命令、addr2の命令、addr3の命令、addr4の命令)を想定しているが、発行可能な命令数が5個以上となっても同様の回路構成で対応可能である。尚、上記addr1の命令、addr2の命令、addr3の命令、addr4の命令は、例えば、夫々、算術演算としての加算(ADD)命令、減算

50

(SUB)命令、論理演算としてのAND命令、OR命令等とすることができる。

【0061】

加算器A1はaddr1の命令およびaddr2の命令の計2命令の消費電流の合計を求める。加算器A2は加算器A1の出力とaddr3の命令の消費電流との合計、すなわち、addr1、addr2、addr3の計3命令の消費電流の合計を求める。同様に加算器A3は、加算器A2の出力とaddr4の命令の消費電流の合計、すなわち、addr1、addr2、addr3、addr4の計4命令の消費電流の合計を求める。そして比較器C1、C2、C3、C4は夫々、addr1の命令の消費電流、加算器A1の出力、加算器A2の出力、加算器A3の出力の夫々と、P1とを比較する。すなわち比較器C1はaddr1の命令に係る消費電流P(t)とP1とを比較し、比較器C2はaddr1、addr2の夫々の命令に係る合計の消費電流P(t)とP1とを比較する。同様に比較器C3はaddr1、addr2、addr3の夫々の命令に係る合計の消費電流P(t)とP1とを比較する。そして比較器C4はaddr1、addr2、addr3、addr4の夫々の命令に係る合計の消費電流P(t)とP1とを比較する。

10

【0062】

各比較器C1~C4は、P(t)がP以上の場合に1を出力し、P(t)がP未満の場合に0を出力する。そして図11の回路は、比較器C1~C4の出力として、アドレスの選択信号AD[1:4]を生成する。例えばAD[1:4]=0000時にaddr1~4の4命令を発行、AD[1:4]=0001時にaddr1~3の3命令を発行するように設定できる。同様にAD[1:4]=0011時にaddr1~2の2命令を発行、AD[1:4]=0111時にaddr1の1命令を発行するように設定できる。

20

【0063】

図10Bは、モニタ手法1で消費電流が増加する際の動作フローチャート(その2)である。図10Bの動作フローチャート(その2)は、上述した図10Aの動作フローチャート(その1)とは異なる方法の例を示す。図10Bの動作フローチャート(その2)中、ステップS21乃至S27は、図10Aの動作フローチャート(その1)中、ステップS21乃至S27と同様であり、重複する説明を省略する。図10Bの動作フローチャート(その2)の場合、ステップS27Aでダミー命令を追加することができる。上記の如く、ステップS27では、P(t)が過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)に上記制限値P1を加えた値以下(YES)であれば、ループ動作を終了する。ここで、例えば上記制限値P1の値が小さい場合等には、当該ループ動作の終了時、上記P(t)が上記過去Nサイクルの平均電流値P(t-1, t-N)よりも小さい場合、すなわち消費電流が減少する場合も想定される。そのような場合に、上記P(t)と、P(t-1, t-N)との間の差(消費電流の減少量)に応じた消費電流のダミー命令を追加して消費電流の減少を緩和することができる。この目的のためのダミー命令として、図6とともに上記した消費電流値=200[μA]のダミー命令に加え、例えば消費電流値=100[μA]のダミー命令等を別途設けることにより、消費電流が異なる複数のダミー命令を用意しておくことができる。そして上記P(t)と、P(t-1, t-N)との間の差(消費電流の減少量)に応じ、これら消費電流が異なる複数のダミー命令から、適宜最適な消費電流のダミー命令を選択して追加することができる。その場合、上記ステップS23、S24、S26、S27のループ動作で最終的に選択された1乃至i番目の命令に上記ステップS27Aでダミー命令が追加される。そしてこのようにして得られた、発行すべき命令を示す情報が、命令発行調整部13Aに渡される。命令発行調整部13Aは当該渡された情報が示す命令を、現サイクルにおいて演算ユニット14A、14B、14C、14Dに発行する(ステップS28A)。

30

40

【0064】

図12は、モニタ手法1で消費電流が減少する際の動作フローチャートである。図12中、ステップS41にて、命令キャッシュ11からフェッチされた命令が、デコーダ12でデコードされる。ステップS41R、S42にて、デコードされた命令は命令発行制御

50

部 1 3 X の命令発行制御機能部 1 3 R に渡され、同時発行可能な M 個の命令 $I n s t (1)$ 、 $I n s t (2)$ 、 \dots 、 $I n s t (M)$ が選択される。以後命令発行制御部 1 3 X は、ステップ S 4 3、S 4 5、S 4 6 のループ動作を行う。当該ループ動作では、ステップ S 4 6 で、発行するダミー命令 ($d u m m y$) の個数を順次 1 ずつ増加して行き、ステップ S 4 5 の判断結果が Y E S となると当該ループ動作が終了する。

【 0 0 6 5 】

ステップ S 4 3 では、電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C により、上記 M 個の命令 $I n s t (1)$ 、 $I n s t (2)$ 、 \dots 、 $I n s t (M)$ とステップ S 4 6 で加えられたダミー命令とにつき、消費電流の合計 $P (t)$ が算出される。ステップ S 4 4 では、電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C により、過去の N サイクル分の消費電流の平均値 $P (t - 1 , t - N)$ が算出される。そしてステップ S 4 5 では、発行可能な命令およびダミー命令についての消費電流の合計 $P (t)$ と、過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - 1 , t - N)$ から上記制限値 $P 2$ を差し引いた値が比較される。その結果、発行可能な命令およびダミー命令についての消費電流の合計 $P (t)$ が、過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - 1 , t - N)$ から上記制限値 $P 2$ を差し引いた値以上となる (Y E S) まで、ループ動作が続行される。その結果、必要に応じてダミー命令を加えた結果の消費電流値 $P (t)$ が、過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - 1 , t - N)$ から上記制限値 $P 2$ を差し引いた値以上となるようなダミー命令の発行数 (すなわち「必要なダミー命令の発行数」) が決定される。このようにして得られた必要なダミー命令の発行数が、命令発行調整部 1 3 A に渡される。命令発行調整部 1 3 A は発行可能な命令に上記必要な発行数のダミー命令を加え合わせた命令を、現サイクルにおいて演算ユニット 1 4 A、1 4 B、1 4 C、1 4 D に発行する (ステップ S 4 7) 。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 A は、モニタ手法 2 で消費電流が増加する際の動作フローチャート (その 1) である。図 1 3 A 中、ステップ S 6 1 にて、命令キャッシュ 1 1 からフェッチされた命令が、デコーダ 1 2 でデコードされる。ステップ S 6 1 R、S 6 2 にて、デコードされた命令は命令発行制御部 1 3 X の命令発行制御機能部 1 3 R に渡され、同時発行可能な M 個の命令 $I n s t (1)$ 、 $I n s t (2)$ 、 \dots 、 $I n s t (M)$ が選択される。以後命令発行制御部 1 3 X は、ステップ S 6 3、S 6 4、S 6 6、S 6 7 のループ動作を行う。当該ループ動作では、 i が初期値 M から順に 1 ずつ減少し、 $i = 1$ となる迄の間、ステップ S 6 6 の判断結果が Y E S となると当該ループ動作が終了する。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 6 4 では、電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C により、上記 M 個の命令のうち 1 番目から i 番目までの命令 $I n s t (1)$ 、 $I n s t (2)$ 、 \dots 、 $I n s t (i)$ についての消費電流の合計 $P (t)$ が求められる。そして当該現サイクルの消費電流 $P (t)$ を加えた、現在と過去の N サイクル分の消費電流の平均値 $P (t , t - N + 1)$ が算出される。ステップ S 6 5 では、電流変化計算部 1 3 C の計算部 1 3 C C により、更に過去の N サイクル分の消費電流の平均値 $P (t - N , t - 2 N + 1)$ が算出される。そしてステップ S 6 6 では、上記現サイクルを加えた現在と過去の N サイクル分の消費電流の平均値 $P (t , t - N + 1)$ と、更に過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - N , t - 2 N + 1)$ に上記制限値 $P 1$ を加えた値とが比較される。その結果、現在と過去の N サイクル分の消費電流の平均値 $P (t , t - N + 1)$ が、更に過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - N , t - 2 N + 1)$ に上記制限値 $P 1$ を加えた値以下となる (Y E S) までループ動作が続行される。上記同様、 i の初期値は M であり、最初、上記 i 番目の命令までの消費電流の合計 $P (t)$ は M 個の命令分の消費電流である。この時点で現在と過去の N サイクル分の平均電流値 $P (t , t - N + 1)$ が、更に過去 N サイクルの平均電流値 $P (t - N , t - 2 N + 1)$ に上記制限値 $P 1$ を加えた値以下 (Y E S) であればループ動作が終了され (ステップ S 6 7)、電流変化計算部 1 3 C は、「発行可能な最大命令数 = M」を命令発行調整部 1 3 A に通知する。命令発行調整部 1 3 A は上記の如く優先順位に従って、演算ユニット 1 4 A、1 4 B、1 4 C、1 4 D のうちの対応するものに対し、命令

10

20

30

40

50

を発行する。

【0068】

他方上記最初の時点で現在と過去のNサイクル分の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ が、更に過去Nサイクルの平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ に上記制限値 $P1$ を加えた値を超える (NO) 場合、ループ動作が継続される。そして上記の如く、現在と過去のNサイクル分の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ が、更に過去Nサイクルの平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ に上記制限値 $P1$ を加えた値 $P(t)$ 以下となった時点 (YES) でループ動作が終了される。その結果、現在発行可能なM個の命令のうちアドレスが大きい方から順に一命令ずつ順次減らされて行き、算出された現在と過去のNサイクル分の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ が更に過去Nサイクルの平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ に上記制限値 $P1$ を加えた値以下となるまで減らされる。したがって発行可能なM個の命令のうちアドレスが小さい方から順に選んで行き、現在と過去の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ が更に過去の平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ に制限値 $P1$ を加えた値を超える直前までの (1乃至i番目の) 命令が、最終的に選択される。そして当該最終的に選択された命令の情報が、命令発行調整部13Aに渡される。命令発行調整部13Aは当該最終的に選択された1乃至i番目の命令を、現サイクルにおいて演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dに発行する (ステップS68)。

10

【0069】

図13Bは、モニタ手法2で消費電流が増加する際の動作フローチャート (その2) である。図13Bの動作フローチャート (その2) は、上述した図13Aの動作フローチャート (その1) とは異なる方法の例を示す。図13Bの動作フローチャート (その2) 中、ステップS61乃至S67は、図13Aの動作フローチャート (その1) 中、ステップS61乃至S67と同様であり、重複する説明を省略する。図13Bの動作フローチャート (その2) の場合、ステップS67Aでダミー命令を追加することができる。上記の如く、ステップS67では、現在と過去のNサイクル分の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ が、更に過去Nサイクルの平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ に上記制限値 $P1$ を加えた値以下であればループ動作が終了される。ここで、例えば上記制限値 $P1$ の値が小さい場合等には、当該ループ動作の終了時、上記更に過去Nサイクルの平均電流値 $P(t - N, t - 2N + 1)$ より、上記現在と過去のNサイクル分の平均電流値 $P(t, t - N + 1)$ の方が小さい (すなわち消費電量が減少する) 場合も想定され得る。このような場合に、必要に応じ、上記 $P(t - N, t - 2N + 1)$ と、上記 $P(t, t - N + 1)$ との間の差 (消費電流の減少量) に応じた消費電流のダミー命令を追加することができる。この目的のためのダミー命令として、図6とともに上記した消費電流値 = 200 [μA] のダミー命令に加え、例えば消費電流値 = 100 [μA] のダミー命令等を別途設けることにより、消費電流の異なる複数のダミー命令を用意しておくことができる。そして上記 $P(t - N, t - 2N + 1)$ と、上記 $P(t, t - N + 1)$ との間の差 (消費電流の減少量) に応じ、これら消費電流が異なるダミー命令から適宜最適な消費電流のダミー命令を選択して追加することができる。この場合、上記ステップS63, S64, S66, S67のループ動作で最終的に選択された1乃至i番目の命令に上記ステップS67Aでダミー命令が追加される。そしてこのようにして得られた、発行すべき命令を示す情報が、命令発行調整部13Aに渡される。命令発行調整部13Aは当該渡された情報が示す命令を、現サイクルにおいて演算ユニット14A, 14B, 14C, 14Dに発行する (ステップS68A)。

20

30

40

【0070】

図14は、モニタ手法2で消費電流が減少する際のフローチャートである。図14中、ステップS81にて、命令キャッシュ11からフェッチされた命令が、デコーダ12でデコードされる。ステップS81R, S82にて、デコードされた命令が命令発行制御部13Xの命令発行制御機能部13Rに渡され、同時発行可能なM個の命令 $Inst(1)$ 、 $Inst(2)$ 、 \dots 、 $Inst(M)$ が選択される。以後命令発行制御部13Xは、ステップS83, S85, S86のループ動作を行う。当該ループ動作では、ステップS8

50

6で、発行するダミー命令の個数を1ずつ順次増加して行き、ステップS85の判断結果がYESとなると当該ループ動作が終了する。

【0071】

ステップS83では、電流変化計算部13Cの計算部13CCにより、上記M個の命令Inst(1)、Inst(2)、...、Inst(M)とステップS46で加えられたダミー命令とにつき、消費電流の合計P(t)が算出される。更に、当該現サイクルの消費電流を加えた、現在と過去のNサイクル分の消費電流と平均値P(t、t-N+1)が算出される。ステップS84では、電流変化計算部13Cの計算部13CCにより、更に過去のNサイクル分の消費電流の平均値P(t-N、t-2N+1)が算出される。そしてステップS85では、現サイクルの消費電流を加えた現在と過去のNサイクル分の平均電流値P(t、t-N+1)と、更に過去Nサイクルの平均電流値P(t-N、t-2N+1)から上記制限値P2を差し引いた値とが比較される。その結果、現サイクルの消費電流を加えた現在と過去のNサイクル分の平均電流値P(t、t-N+1)と、更に過去Nサイクルの平均電流値P(t-N、t-2N+1)から上記制限値P2を差し引いた値以上となる(YES)までループ動作が継続される。その結果、必要な個数のダミー命令を加えた結果の、現サイクルの消費電流を加えた現在と過去のNサイクル分の平均電流値P(t、t-N+1)が、更に過去Nサイクルの平均電流値P(t-N、t-2N+1)から上記制限値P2を差し引いた値以上となるようにダミー命令が順次1ずつ加えられる(ステップS86)。このようにして得られた、必要なダミー命令の発行数が、命令発行調整部13Aに渡される。命令発行調整部13Aは発行可能な命令に上記必要な発行数のダミー命令を加え合わせた命令を、現サイクルにおいて演算ユニット14A、14B、14C、14Dに発行する(ステップS87)。

【0072】

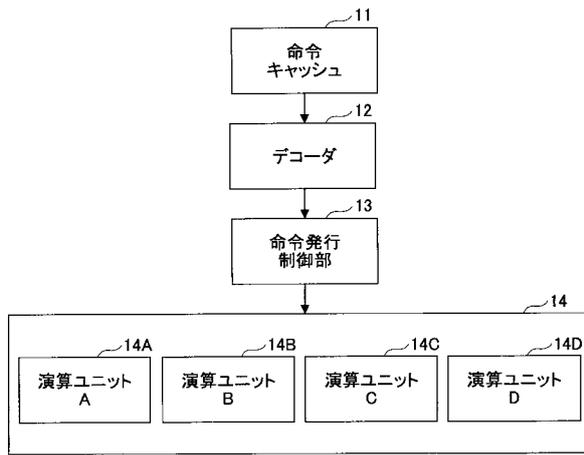
図15は、上記実施例のプロセッサを適用可能なサーバ等の情報処理装置のハードウェア構成例を説明するためのブロック図である。当該情報処理装置は、演算処理装置であるプロセッサ110と、記憶装置であるメモリ120と、プロセッサ110とメモリ120とを接続するバス130とを含む。メモリ120は、プロセッサ110が実行する命令が書き込まれたプログラム、上記命令の実行対象であるデータ、上記命令の実行結果であるデータ等を格納する。プロセッサ110として、図2に記載された構成のものを適用することができる。その場合、図2に示されるプロセッサの命令キャッシュ11が、メモリ120に格納されたプログラムを取得して保持し、デコーダ12が当該プログラムの命令をフェッチ(取得)してデコード(解読)し、命令発行制御部13Xがデコードされた命令を演算機構14の演算ユニット14A、14B、14C、14Dに発行する。演算ユニット14A、14B、14C、14Dは、当該発行された命令を実行する。命令発行制御部13Xは、図2乃至14とともに上述した実施例のプロセッサにおける命令発行制御部13Xと同様の構成を有する。

10

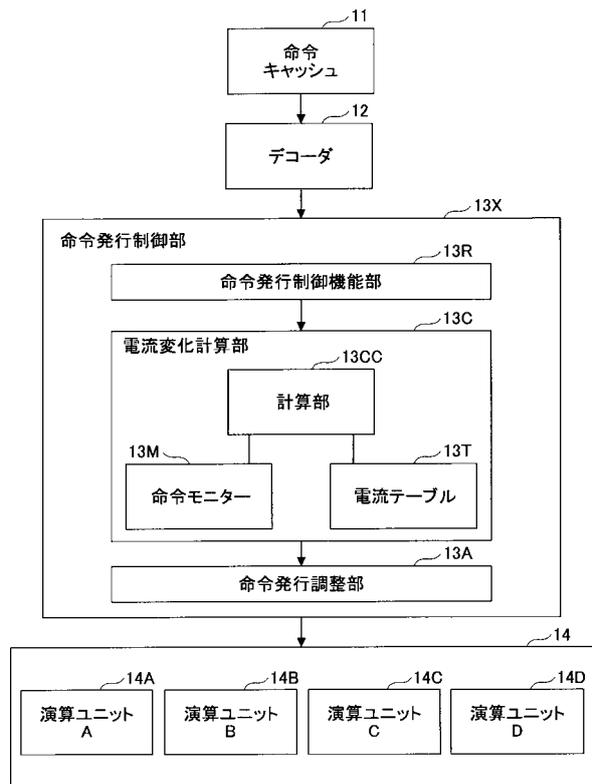
20

30

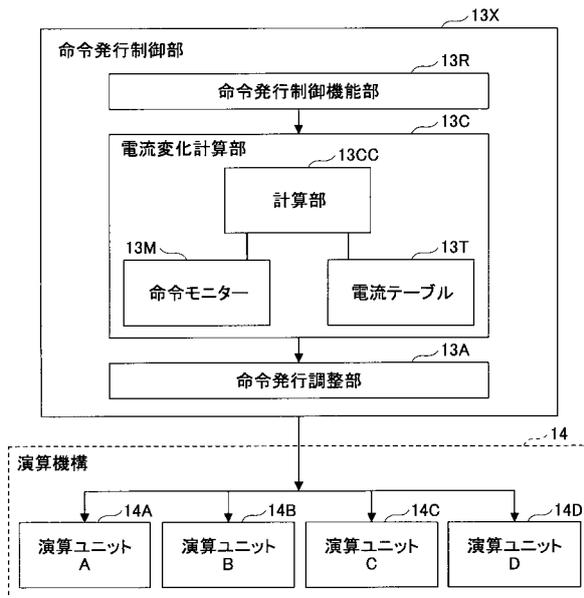
【図1】



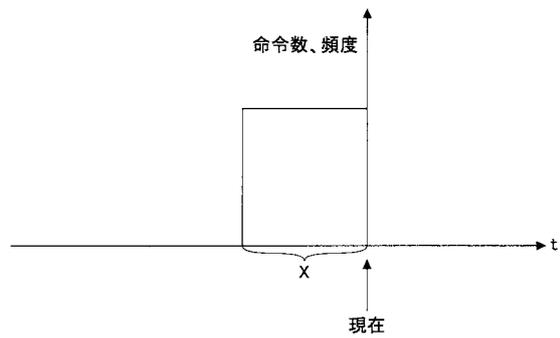
【図2】



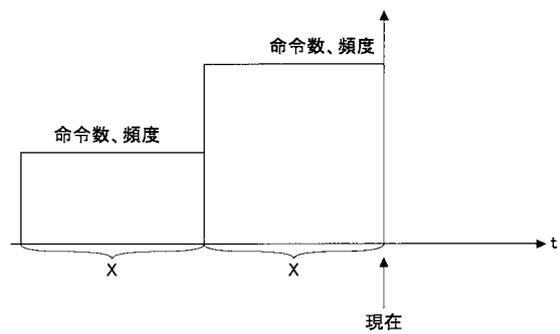
【図3】



【図4】



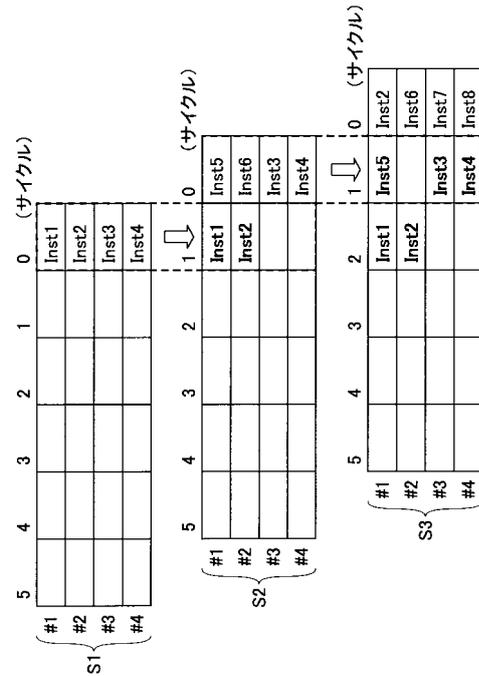
【図5】



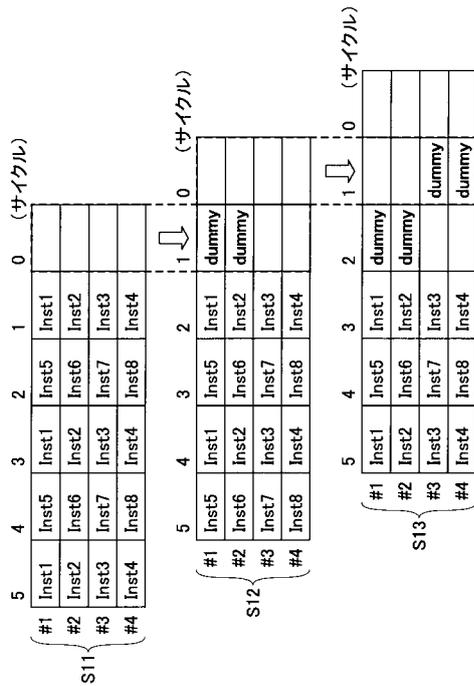
【図6】

命令種	電流値(uA)
Inst1	300
Inst2	200
Inst3	250
Inst4	150
Inst5	250
Inst6	200
Inst7	250
Inst8	250
dummy	200
...	...

【図7】



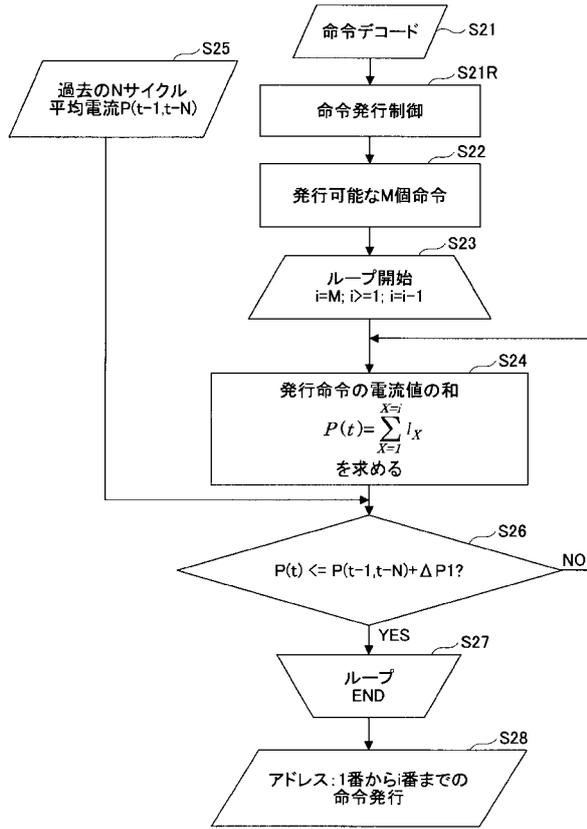
【図8】



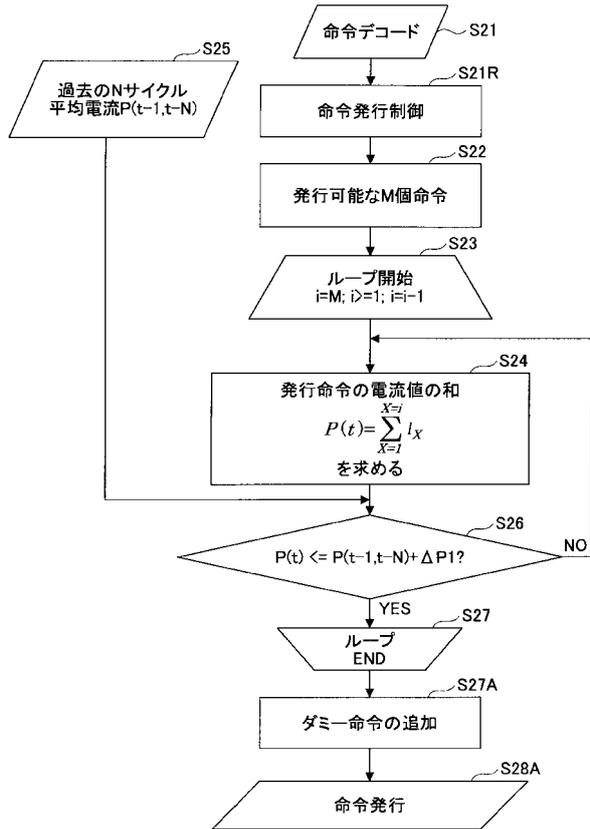
【図9】

番号	命令	電流値I	アドレス(i)
1	Inst(1)	I1	1
2	Inst(2)	I2	2
...	...	I _x	...
M-1	Inst(M-1)	I _{M-1}	A-1
M	Inst(M)	I _M	A

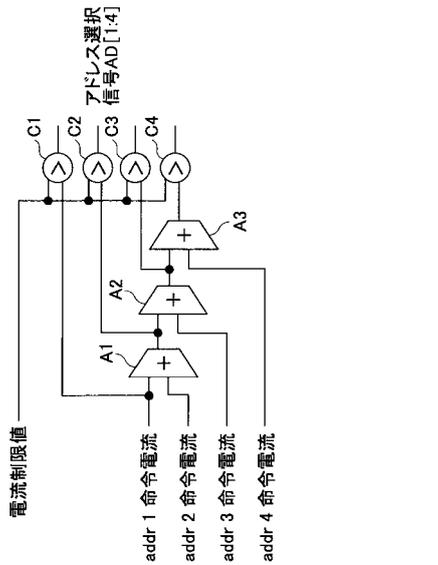
【図10A】



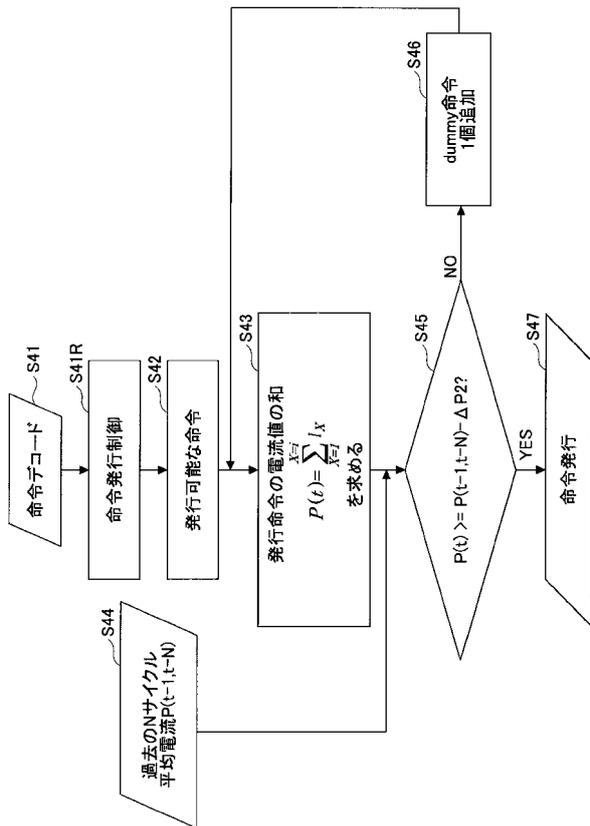
【図10B】



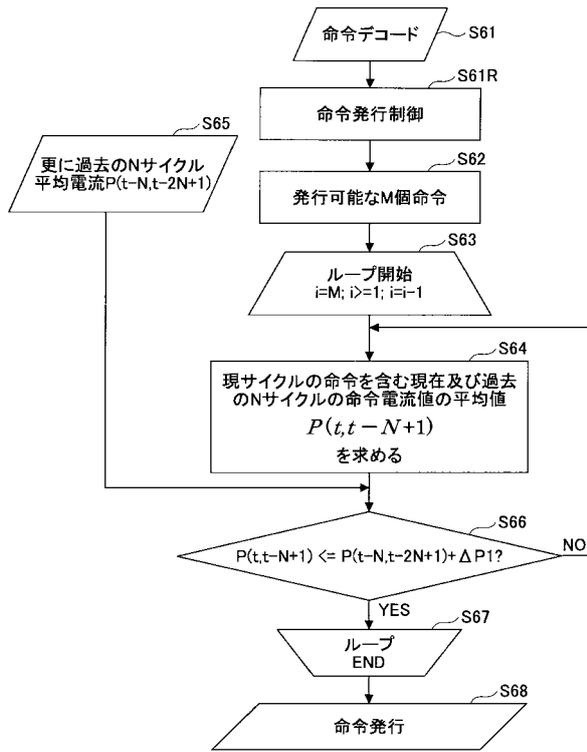
【図11】



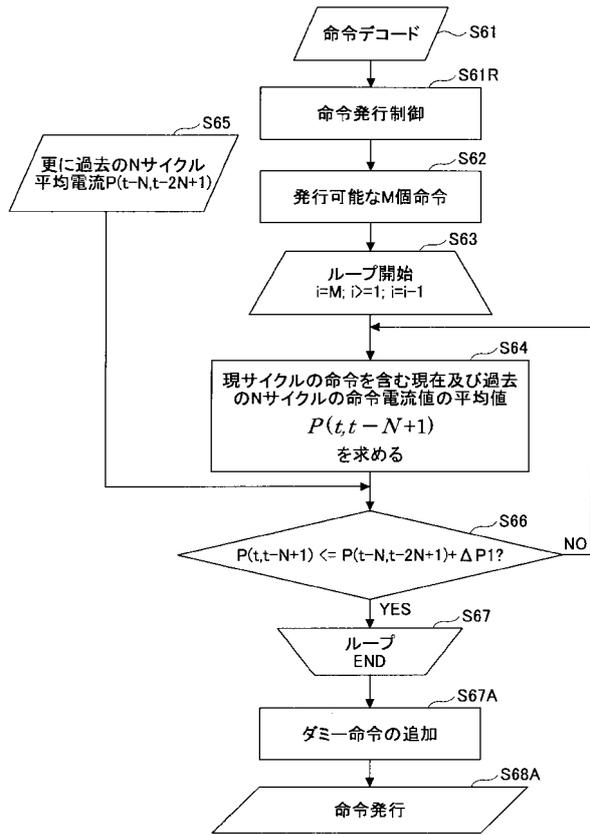
【図12】



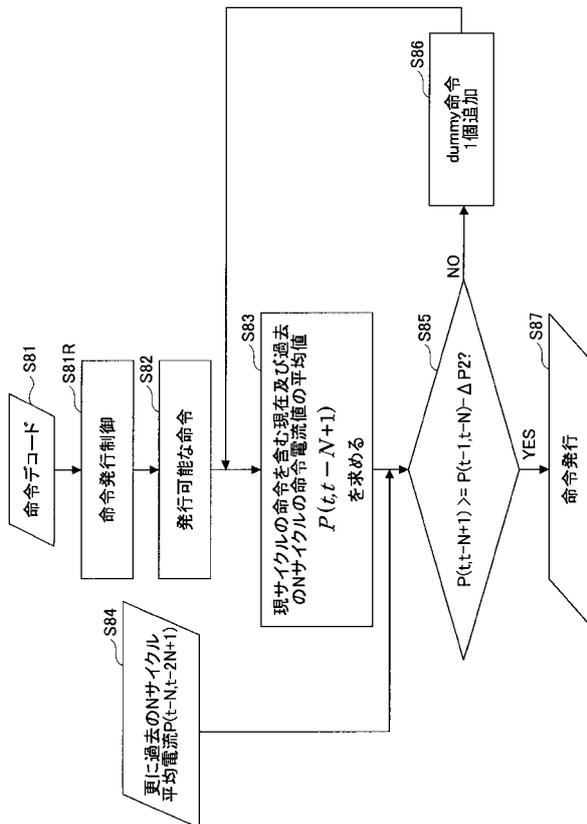
【図13A】



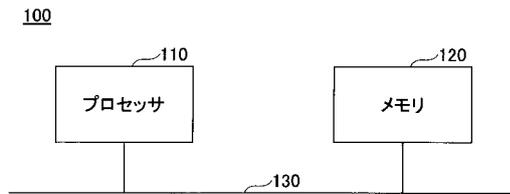
【図13B】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 川辺 幸仁

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 三浦 みちる

(56)参考文献 特開2004-334641(JP,A)

特開2004-287919(JP,A)

特開平03-127160(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 1/28

G06F 1/32

G06F 9/30

G06F 9/38