

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2011年6月3日(03.06.2011)



PCT



(10) 国際公開番号

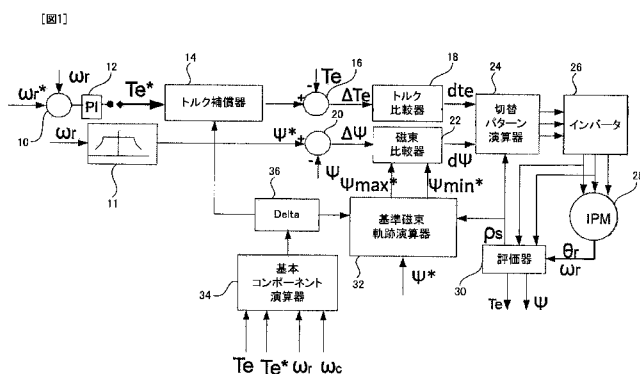
WO 2011/065406 A1

- (51) 国際特許分類:  
H02P 21/00 (2006.01) H02P 27/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/070993
- (22) 国際出願日: 2010年11月25日(25.11.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-269509 2009年11月27日(27.11.2009) JP  
特願 2010-209783 2010年9月17日(17.09.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社豊田中央研究所(KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO KENKYUSHO) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): ガデリーアハマッド(GHADERI Ahmad) [IR/JP]; 〒4801192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 菅井 賢(SUGAI Masaru) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人Y K I 国際特許事務所 (YKI Patent Attorneys); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町一丁目34番12号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: AC MOTOR DRIVE-CONTROL APPARATUS AND REFERENCE MAGNETIC-FLUX CALCULATION DEVICE

(54) 発明の名称: 交流電動機の駆動制御装置及び基準磁束演算装置



- 14 TORQUE COMPENSATOR  
18 TORQUE COMPARATOR  
22 MAGNETIC FLUX COMPARATOR  
24 SWITCHING PATTERN CALCULATOR  
26 INVERTER  
30 EVALUATOR  
32 REFERENCE MAGNETIC-FLUX LOCUS CALCULATOR  
34 BASIC COMPONENT CALCULATOR

(57) Abstract: Provided is an apparatus that drives and controls an AC motor seamlessly, without switching the control mode thereof. A basic component calculator (34) calculates a basic coefficient according to torque errors. A Delta calculator (36) calculates the angle (Delta) of a non-switching region so as to have the angle increase successively according to the basic coefficient, from zero to 60 degrees in accordance to the increase in the basic coefficient. A reference magnetic-flux locus calculator (32) calculates the locus of the reference magnetic flux using the Delta angle, and calculates the maximum reference magnetic flux ( $\psi_{max}^*$ ) and the minimum reference magnetic flux ( $\psi_{min}^*$ ). A switching pattern calculation unit (24) will not change but maintain the output voltage vector of an inverter (26), when the magnetic flux is between  $\psi_{max}^*$  and  $\psi_{min}^*$ , and the phase angle is within the Delta angle. The inverter voltage is thereby changed seamlessly from high frequency switching to rectangular shape.

(57) 要約: 制御モードを切り替えることなくシームレスで交流電動機を駆動制御する装置。基本コンポーネント演算器34は、トルク誤差等に応じて基本係数を演算する。デルタ演算器36は、基本係数に応じ、基本係数が増加するに従って0度から60度まで順次

増加するように非切替領域の角度Deltaを演算する。基準磁束軌跡演算器32は、角度Deltaを用いて基準磁束の軌跡を演算し、最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ 及び最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ を演算する。切替パターン演算器24は、磁束が $\psi_{max}^*$ と $\psi_{min}^*$ との間にあり、位相角がDelta内のときにはインバータ26の出力電圧ベクトルを切り替えることなく維持する。これにより、インバータ電圧が高周波スイッチングから矩形形状にシームレスに変化していく。

WO 2011/065406 A1



---

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

### 発明の名称： 交流電動機の駆動制御装置及び基準磁束演算装置 技術分野

[0001] 本発明は交流モータ（ＡＣモータ）のシームレスなシングルモード制御に関する。

### 背景技術

[0002] ハイブリッド車両や電気自動車に搭載される駆動源としての交流電動機を、制御モードを適宜切り替えて駆動制御する構成が知られている。例えば、２つの制御モードを切り替える方法、あるいは３つの制御モードを切り替える方法がある。２つの制御モードを切り替える方法では、低回転域では通常のPWM制御を行い、高回転域では矩形波制御を行う。３つの制御モードを切り替える方法では、これらの制御モードに加え、過変調制御モードが用いられる。回転数及びトルクが小さい領域から順に、変調率が１以下の正弦波制御モード、変調率が１を超える過変調制御モード、矩形波制御モードに順に切り替える。

[0003] 図２０（ａ）～（ｃ）に、これら３つの制御モードを模式的に示す。（ａ）の正弦波制御モードでは、三角波比較によるPWM制御における三角波の振幅以下の振幅で正弦波状の出力電圧指令値を生成してPWM信号に変換する。（ｂ）の過変調制御モードでは、三角波の振幅を超えた振幅で正弦波状の出力電圧指令値を生成してPWM信号に変換する。（ｃ）の矩形波制御モードでは、ハイレベル期間及びローレベル期間の比が１：１の矩形波信号を生成する。低回転低トルク領域において正弦波制御モードを用いることで、電動機を応答性良く制御するとともに、低回転域であっても滑らかな回転を得ることができる。また、高回転高トルク領域において矩形波制御モードを用いることで、直流電源の電圧利用率を向上させて高回転域での出力を向上させるとともに、銅損の発生やスイッチング損失を抑えてエネルギー効率を向上させることができる（特許文献１，２参照）。これら３つの制御モードは

、予め用意されメモリに記憶された制御モード設定用マップを参照しつつ、回転数及び出力トルクに応じて順次切り替えられる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-165326号公報

特許文献2：特開2008-253000号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、回転数及び出力トルクに応じて3つの制御モードを切り替える方法は、これを実現するための装置構成が比較的複雑なものとなる。また、ある制御モードから次の制御モードに切り替える際に、トルク変動が生じ得る。さらに、交流モータを制御する方法として、磁束とトルクを直接かつ独立に制御するダイレクトトルクコントロール（DTC）が知られているが、このDTCに比べてトルクレスポンスが相対的に低い。

[0006] なお、交流電動機の駆動制御として、空間ベクトル変調（SPM）も提案されているが、基準電圧を生成するためにリアルタイムで複雑な方程式を解かなくてはならない、より多くの電動機パラメータに依存する等の問題がある。

[0007] 本発明の目的は、上記の課題に鑑み、制御モードを切り替えることなくシームレスで交流電動機を駆動制御することができる駆動制御装置及び基準磁束演算装置を提供することにある。

## 課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、交流電動機の駆動制御装置であって、基準トルクと現在トルクのトルク誤差、及び交流電動機の速度に応じて基本係数を演算する基本係数演算手段と、前記基本係数を用いて非切替領域を規定する角度Deltaを演算するデルタ演算手段と、前記角度Deltaと基準磁束に応じて最大基準磁束及び最小基準磁束を演算する基準磁束軌跡演算手段と、基準トルクと

現在トルクとのトルク誤差、基準磁束と現在磁束の磁束誤差、磁束の位相角、及び前記角度  $\Delta \theta$  に応じて演算された最大基準磁束及び最小基準磁束に応じて交流電動機を駆動するインバータの出力電圧ベクトルを選択する切替パターン演算手段とを備えることを特徴とする。

[0009] 本発明の1つの実施形態では、さらに、前記角度  $\Delta \theta$  に応じたトルク減少分を補償すべく基準トルクを補正するトルク補償手段を備える。

[0010] また、本発明の1つの実施形態では、前記デルタ演算手段は、前記基本係数に応じ、前記基本係数が増加するに従って0度から60度まで順次増加するように前記角度  $\Delta \theta$  を演算する。

[0011] また、本発明の1つの実施形態では、前記切替パターン演算手段は、現在磁束が前記最大基準磁束と前記最小基準磁束との間にあり、前記位相角が前記角度  $\Delta \theta$  で規定される前記非切替領域内にあり、かつ、現在の出力電圧ベクトルがゼロベクトルでない場合に現在の出力電圧ベクトルを切り替えることなく維持し、現在磁束が前記最大基準磁束と前記最小基準磁束との間になく、あるいは前記位相角が前記角度  $\Delta \theta$  で規定される前記非切替領域内になく、あるいは、現在の出力電圧ベクトルがゼロベクトルである場合に予め設定された切替パターンテーブルに従って出力電圧ベクトルを選択する。さらに、前記基準磁束軌跡演算手段は、前記インバータの出力電圧ベクトルの切替タイミングに対応する理論的な基準磁束軌跡の角度と実際の角度とのずれであるオフセットを演算するオフセット算出部と、前記オフセットを用いて基準磁束を補正する基準磁束補正部とを備えてもよい。

[0012] また、本発明は、交流電動機の駆動装置に用いられる基準磁束演算装置であって、基準トルクと現在トルクのトルク誤差、及び交流電動機の速度に応じて基本係数を演算する基本係数演算手段と、前記基本係数を用いて非切替領域を規定する角度  $\Delta \theta$  を演算するデルタ演算手段と、インバータの出力電圧ベクトルの切替タイミングに対応する理論的な基準磁束軌跡の角度と実際の角度とのずれであるオフセットを演算するオフセット算出部と、前記オフセットを用いて角度  $\Delta \theta$  の中心位置を補正する中心位置補正部

と、補正された角度  $\text{D e l t a}$  の中心位置と前記位相角との間の角度  $\alpha$  を算出する  $\alpha$  算出部とを備え、前記角度  $\alpha$  及び角度  $\text{D e l t a}$  を用い、前記基準磁束に  $\cos(\text{D e l t a}/2) / \cos(\alpha)$  を乗じることで基準磁束を補正することを特徴とする。

[0013] このように、本発明では、従来の D C T のように予め設定された切替パターンテーブルを用い、トルク誤差や磁束誤差に応じてインバータの出力電圧ベクトルを順次切り替えるのではなく、非切替領域  $\text{D e l t a}$  を設定し、磁束の位相角がこの  $\text{D e l t a}$  内にある場合にはインバータの出力電圧ベクトルを切り替えることなくそのまま維持する。角度  $\text{D e l t a}$  はインバータの基本係数から演算され、基本係数に応じて 0 度から 60 度まで連続的に変化する。基本係数はトルク誤差や交流電動機の数値に基づいて演算される。角度  $\text{D e l t a}$  の領域では出力電圧ベクトルは維持されるため、磁束軌跡は従来の D C T のように磁束が一定の円形状から変動する。具体的には、 $\text{D e l t a} = 0$  度の場合には従来と同様に磁束軌跡は円形状であるが、 $\text{D e l t a}$  が増加するに従って連続的に 6 角形状に変化していく。これに伴い、インバータ電圧も高周波のパターンから矩形のパターンに連続的に変化していく。これにより、制御モードの切替のないシームレスな駆動が可能となる。

[0014] なお、角度  $\text{D e l t a}$  が 0 度から 60 度に順次増加するに従って磁束軌跡が円形状から 6 角形状に変化するため、平均トルクは減少する。この場合、トルク補償器で角度  $\text{D e l t a}$  に応じて基準（目標）トルクを補正することで、トルク減少分を補償できる。

### 発明の効果

[0015] 本発明によれば、制御モードを切り替えることなくシームレスで交流電動機を駆動制御することができる。また、本発明では、インバータ電圧は高周波パターンから矩形パターンにわたって滑らかに変化するから、トルク変動を抑制することができる。また、本発明では従来の D T C と同様にトルクを直接制御するため、レスポンスも迅速である。

### 図面の簡単な説明

- [0016] [図1]実施形態の駆動制御装置の構成ブロック図である。
- [図2]角度  $\Delta$  と補償トルクの関係を示すグラフ図である。
- [図3]基本係数と  $\Delta$  の関係を示すグラフ図である。
- [図4]実施形態の基準磁束軌跡説明図である。
- [図5]  $\Delta$  が0度と60度の場合の基準磁束軌跡説明図である。
- [図6]  $\Delta$  が0度と60度の場合のインバータ電圧パターン説明図である。
- [図7]  $\Delta$  の変化に応じた基準磁束軌跡説明図である。
- [図8]  $\Delta = 20$  度の場合の基準磁束軌跡とインバータ電圧パターンの関係を示す説明図である。
- [図9]  $\Delta = 40$  度の場合の基準磁束軌跡とインバータ電圧パターンの関係を示す説明図である。
- [図10]  $\Delta = 55$  度の場合の基準磁束軌跡とインバータ電圧パターンの関係を示す説明図である。
- [図11]  $\Delta = 60$  度の場合の基準磁束軌跡とインバータ電圧パターンの関係を示す説明図である。
- [図12]実施形態のシミュレーション結果を示すグラフ図である。
- [図13]実施形態のシミュレーション結果を示すグラフ図である。
- [図14]実施形態のシミュレーション結果を示す、磁束軌跡とインバータ電圧パターンの説明図である。
- [図15]実施形態のシミュレーション結果を示す、磁束軌跡とインバータ電圧パターンの説明図である。
- [図16]実施形態のシミュレーション結果を示す、磁束軌跡とインバータ電圧パターンの説明図である。
- [図17]インバータ出力電圧ベクトルの説明である。
- [図18]  $d-q$  平面における  $S(1) \sim S(6)$  領域と従来の磁束軌跡の説明図である。
- [図19]切替パターンテーブルの一例を示す図である。

[図20]従来の制御モードの説明図である。

[図21]基準磁束軌跡演算ユニットの概念構成図である。

[図22]基準磁束軌跡演算ユニットの構成ブロック図である。

[図23]オフセット説明図である。

[図24]オフセット無考慮時の基準磁束軌跡の説明図である。

[図25]オフセット評価器の構成ブロック図である。

[図26]位相角に対する磁束軌跡の説明図である。

[図27]図26の一部拡大図である。

[図28]実施形態のシミュレーション結果を示す磁束軌跡説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

[0018] 図1に、本実施形態における交流電動機の駆動制御装置の構成ブロック図を示す。図1における記号の定義は、以下のとおりである。

$\omega_r$  : モータ速度

$\omega_r^*$  : 基準（目標）モータ速度

$T_e^*$  : 基準（目標）トルク

$T_e$  : モータトルク

$\psi^*$  : 基準（目標）磁束

$\Delta T_e$  : トルク誤差

$\Delta \psi$  : 磁束誤差

$d T_e$  : 量子化トルク信号

$d \psi$  : 量子化磁束信号

$\rho_s$  : 位相角

$\theta_r$  : ロータ角

$\omega_c$  : クロスオーバ速度

$\psi_{max}^*$  : 最大基準（目標）磁束

$\psi_{min}^*$  : 最小基準（目標）磁束

$\Delta$  : 非切替領域の角度

- [0019] 図1の構成ブロック図は、DTCの構成ブロック図を基本とし、これにいくつかの機能ブロックを付加して修正したものである。
- [0020] 基準（目標）モータ速度 $\omega_r^*$ とモータ速度 $\omega_r$ は、ともに差分器10に供給される。差分器10は、 $\omega_r^*$ と $\omega_r$ の差分を演算し、 $\omega_r^*$ に対する $\omega_r$ の誤差としてPI器12に出力する。PI器12は、誤差を比例積分し、基準（目標）トルク $T_e^*$ を算出してトルク補償器14に出力する。
- [0021] トルク補償器14は、Delta演算部36で演算された非切替領域の角度Deltaを用いて基準（目標）トルク $T_e^*$ を補正し、差分器16に出力する。トルク補償器14は、以下の式に従って基準（目標）トルク $T_e^*$ をDeltaに応じて補正する。Deltaの値を $\delta$ とすると、
- $$\text{補償トルク} = \pi / 3 \cdot T_e^* \{ \delta - \cos(\delta / 2) \ln \{ (1 + \sin(\delta / 2)) / (1 - \sin(\delta / 2)) \} \}$$
- である。図2に、Deltaと補償トルク $T_{com}$ との関係を示す。Delta=0の場合には補償トルク $T_{com}$ は1、すなわち基準トルク $T_e^*$ のままであるが、Deltaが増大するに従ってトルク $T_e^*$ を増大させるように補償する。Deltaが増加するに従って補償トルクを増大させるのは、Deltaが増大するほど平均トルクが不足するためこれを補償する必要があるからである。これについてはさらに後述する。
- [0022] 再び図1に戻り、差分器16は、補正（補償）された基準（目標）トルク $T_e^*$ （ $T_{com}$ ）とトルク $T_e$ との差分を演算し、補償された基準（目標）トルク $T_e^*$ に対するトルク $T_e$ の誤差 $\Delta T_e$ としてトルク比較器18に出力する。
- [0023] 一方、モータ速度 $\omega_r$ は、磁束演算部11に供給される。磁束演算部11は、予め用意されたマップを用いてモータ速度 $\omega_r$ に対応する基準（目標）磁束 $\psi^*$ を演算し、差分器20に出力する。差分器20は、基準（目標）磁束 $\psi^*$ と磁束 $\psi$ との差分を演算し、基準（目標）磁束 $\psi^*$ に対する磁束 $\psi$ の誤差 $\Delta \psi$ として磁束比較器22に出力する。
- [0024] トルク比較器18は、トルク誤差 $\Delta T_e$ とトルクヒステリシス $\Delta T_e^*$ とに

基づいて3値の量子化トルク信号 $d T_e$ を演算するヒステリシスコンパレータであり、量子化トルク信号 $d T_e$ を切替パターン演算器24に出力する。また、磁束比較器22は、磁束誤差 $\Delta \psi$ と最大基準磁束 $\psi_{max}$ と最小基準磁束 $\psi_{min}$ とに基づいて2値の量子化磁束信号 $d \psi$ を演算するヒステリシスコンパレータであり、量子化磁束信号 $d \psi$ を切替パターン演算器24に出力する。

- [0025] 切替パターン演算器24は、予め作成され記憶された切替パターンテーブルを用いて、トルク比較器18からの量子化トルク信号 $d T_e$ 及び磁束比較器22からの量子化磁束信号 $d \psi$ 並びに位相角 $\rho_s$ に対応する電圧ベクトルを選択し、インバータ26に供給する。インバータ26は、切替パターン演算器24からの信号に基づいてスイッチング制御され、モータ（IPM）28を駆動する。
- [0026] モータ28のロータ角 $\theta_r$ 及びモータ速度 $\omega_r$ はそれぞれセンサで検出されて評価器30に供給される。評価器30は、これらの信号に基づいて磁束 $\psi$ 及びトルク $T_e$ 並びに位相角 $\rho_s$ を評価する。トルク $T_e$ は差分器16に供給され、磁束 $\psi$ は差分器20に供給される。また、トルク $T_e$ は、基準トルク $T_e^*$ 、モータ速度 $\omega_r$ 、クロスオーバ速度 $\omega_c$ とともに、インバータ電圧の基本コンポーネント演算器34に供給される。
- [0027] インバータ電圧の基本コンポーネント演算器34は、差分器及び比例積分器を有し、トルク $T_e$ と基準トルク $T_e^*$ との差分を演算し、その誤差を比例積分器で比例積分する。
- [0028] デルタ演算器36は、インバータ電圧の基本コンポーネント演算器34で算出された結果に基づいて非切替領域の角度 $\Delta$ を演算する。具体的には、基本コンポーネント演算器34で演算された基本係数を $f_c$ とすると、
- $$f_c = 1 / \pi \{ 8 \sin(\delta / 2) + \pi - 3 \delta \}$$
- の関係にある。ここで、 $\delta$ はデルタ演算器36で演算される $\Delta$ の値である。演算された $\Delta$ は、基準磁束軌跡演算器32に供給される。

図3に、デルタ演算器36で演算される $\Delta$ を示す。基本係数 $f_c$ （図では $I_n$ で示す）が増大すると、 $\Delta$ もこれに応じて増大していく。基本係数 $f_c$ が1の場合、 $\Delta$ は0である。

[0029] 基準磁束軌跡演算器32は、デルタ演算器36からの角度 $\Delta$ と、位相角 $\rho_s$ と、基準磁束 $\psi^*$ を用いて基準磁束軌跡を演算する。すなわち、通常のDTCと異なり、本実施形態では、基準磁束軌跡は一定ではなく変動し、その最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ 及び最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ は、角度 $\Delta$ と位相角 $\rho_s$ と基準磁束 $\psi^*$ に応じて適応的に決定される。演算して得られた基準磁束軌跡の最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ 及び最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ は、磁束比較器22に供給される。磁束比較器22は、既述したように、これら最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ 及び最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ をヒステリシスループのしきい値として用いて量子化磁束信号 $d\psi$ を演算（1，-1のいずれかのレベルに量子化）する。すなわち、磁束誤差 $\Delta\psi$ が $\psi_{max}^*$ より大きい場合には「1」、磁束誤差 $\Delta\psi$ が $\psi_{min}^*$ より小さい場合には「-1」のレベルに量子化し、磁束誤差 $\Delta\psi$ が $\psi_{min}^*$ と $\psi_{max}^*$ の間にある場合には、それ以前の状態に応じて「1」あるいは「-1」のレベルに量子化する。例えば、誤差 $\Delta\psi$ が $\psi_{max}^*$ より大きい状態から $\psi_{min}^*$ と $\psi_{max}^*$ の間の状態に移行した場合には「1」のレベルに量子化し、磁束誤差 $\Delta\psi$ が $\psi_{min}^*$ より小さい状態から $\psi_{min}^*$ と $\psi_{max}^*$ の間の状態に移行した場合には「-1」のレベルに量子化する。このようなヒステリシス特性をもたせることで、頻繁な切替を防止できる。

[0030] ここで、磁束軌跡について簡単に述べると、インバータ26のスイッチングモードの組み合わせ（U相、V相、W相の各スイッチのオンオフ）に応じて電圧ベクトルは8種類存在する。図17に、これら8種類の電圧ベクトルを示す。すなわち、 $v_0$ （000）、 $v_1$ （100）、 $v_2$ （110）、 $v_3$ （010）、 $v_4$ （011）、 $v_5$ （001）、 $v_6$ （101）、 $v_7$ （111）である。これらの中で、 $v_0$ （000）及び $v_7$ （111）はゼロベクトルであり、他は非ゼロベクトルである。磁束ベクトルは、電圧ベクトル

ルの積分として表現される。電圧降下が小さいものとする、磁束の軌跡は、インバータ電圧ベクトルの方を向く。インバータ 26 の出力が非ゼロベクトルのいずれかであると、磁束は出力電圧に比例した速度で移動する。ゼロベクトルの場合には、移動速度はとても小さく近似的にゼロとみなすことができる。したがって、電圧ベクトルを適当に選択することにより、磁束は特定の軌跡に沿って移動する。磁束  $\psi$  の大きさを一定に維持するために、基準（目標）磁束  $\psi^*$  と現在の磁束との誤差  $\Delta\psi$  が許容範囲内となるように電圧ベクトルが選択される。電圧ベクトルの選択は、誤差の大きさのみならず、磁束  $\psi$  の向きにも依存する。図 18 に、磁束軌跡の一例を示す。インバータ出力電圧ベクトルは  $\pi/3$  のステップで周期的に変化するから、磁束  $\psi$  の向きを区別するために、d 軸と q 軸からなる d-q 平面は 6 つの領域 S (1) ~ S (6) に分割される。例えば、磁束  $\psi$  が S (1) 領域に存在する場合に、反時計回りに磁束  $\psi$  を回転させるためには、電圧ベクトル  $v_3$  (0 1 0) を選択すればよい。次に、磁束  $\psi$  が S (2) 領域に存在する場合、反時計回りに磁束  $\psi$  を回転させるためには、電圧ベクトル  $v_4$  (0 1 1) を選択すればよい。

- [0031] 一方、トルク  $T_e$  が基準（目標）トルク  $T_e^*$  よりも小さい場合には、可能な限り迅速にトルク  $T_e$  を増大させる必要がある。そして、トルク  $T_e$  が基準トルク  $T_e^*$  に達した場合には、インバータスイッチング周波数を小さくするために可能な限り穏やかにトルク  $T_e$  を減少させる必要がある。これを行うためにゼロベクトルを用いる。例えば、磁束  $\psi$  を時計回りに回転させる場合、トルク  $T_e$  が基準トルク  $T_e^*$  に達すると、磁束  $\psi$  を止めてトルクを減少させるためにゼロベクトルが選択される。一方、トルク  $T_e$  が基準トルク  $T_e$  の下限許容値（最小基準トルク）に達すると、磁束  $\psi$  を時計回りに回転させるための電圧ベクトルが選択される。磁束  $\psi$  を反時計回りに回転させる場合には、トルク  $T_e$  が基準トルク  $T_e^*$  に達すると、磁束  $\psi$  を止めてトルクを減少させるためにゼロベクトルが選択される。また、トルク  $T_e$  が基準トルク  $T_e$  の上限許容値（最大基準トルク）に達すると、磁束  $\psi$  を反時計回りに

回転させるための電圧ベクトルが選択される。

- [0032] 磁束の誤差  $\Delta\psi$  及びトルク誤差  $\Delta T_e$  は、2 値及び 3 値のヒステリシスコンパレータを用いて容易に量子化される。トルク誤差  $\Delta T_e$  は 2 値のヒステリシスコンパレータを用いて 1、-1 のいずれかに量子化され、磁束誤差  $\Delta\psi$  は 3 値のヒステリシスコンパレータを用いて 1, 0, -1 のいずれかに量子化される。ヒステリシスコンパレータで量子化された磁束誤差  $\Delta\psi$  を  $H\psi$ 、同様に量子化されたトルク誤差  $\Delta T_e$  を  $HT_e$  とすると、インバータ出力電圧ベクトルは、 $H\psi$ 、 $HT_e$ 、及び  $S(i)$  ( $i = 1 \sim 6$ ) により決定される。 $S(i)$  については、位相角  $\rho_s$  から決定される。
- [0033] 図 19 に、インバータ 26 の切替パターンテーブルの一例を示す。図において、例えば  $H\psi = 1$ 、 $HT_e = 1$ 、 $S(1)$  領域の場合には電圧ベクトルとして  $v_2(110)$  が選択される。また、 $H\psi = -1$ 、 $HT_e = 1$ 、 $S(2)$  領域の場合には電圧ベクトルとして  $v_4(011)$  が選択される。なお、より詳細なインバータの出力電圧ベクトルの選択については、“A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of an Induction Motor”, Isao Takahashi and Toshihiko Noguchi, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, vol. 1A-22, No. 5, 1986 を参照されたい。
- [0034] 一方、本実施形態では、図 19 に示される切替パターンテーブルをそのまま用いるのではなく、非切替領域の角度  $De\limits_a$  を用いてインバータの出力電圧ベクトルを選択する。具体的には、
- (1) 磁束  $\psi$  が最大基準磁束  $\psi_{max*}$  と最小基準磁束  $\psi_{min*}$  との間にあるか否か
  - (2) 位相角が  $De\limits_a$  内にあるか否か
  - (3) 現在の電圧ベクトルがゼロベクトルでないか否か
- を順次判定する。そして、上記の (1) ~ (3) のいずれかで NO と判定された場合、例えば磁束  $\psi$  が最小基準磁束  $\psi_{min*}$  より小さい場合あるいは最大基準磁束  $\psi_{max*}$  より大きい場合、位相角が  $De\limits_a$  内にない場合、あるいは現在の電圧ベクトルがゼロベクトルである場合（つまり、 $v_0$  あるいは

は $v_7$ である場合)には、図19の切替パターンテーブルを用いて電圧ベクトルを選択する。すなわち、 $H\psi$ 、 $HT_e$ をそれぞれ本実施形態における $d\psi$ 、 $dTe$ として、 $d\psi$ 、 $dTe$ 、 $S(i)$ に応じて電圧ベクトルを選択することで切り替える。一方、上記の(1)～(3)のいずれもYESと判定された場合、すなわち、磁束 $\psi$ が最小基準磁束 $\psi_{min*}$ と最大基準磁束 $\psi_{max*}$ の間にあり、位相角が $Delta$ 内にあり、かつ、ゼロベクトルでない場合には、スイッチングを行うことなく電圧ベクトルをそのまま維持するように制御する。位相角が $Delta$ 内にある場合に電圧ベクトルを切り替えずにそのまま維持するため、従来のように磁束 $\psi$ が一定となるように制御するのではなく、磁束軌跡が円形状から変化することが理解されよう。

[0035] 図4に、以上のようにして制御される本実施形態における基準磁束軌跡を示す。図において、 $Delta$ は非切替領域であり、 $60-Delta$ は、60度のうち $Delta$ でない残存領域を示す。 $Delta$ の領域では電圧ベクトルは切り替えられずにそのまま維持されるため、磁束軌跡は一定ではなく変動する。そして、 $Delta$ が0度から60度まで変化すると、基準磁束軌跡は、円形状から六角形状に変化する。

[0036] 図5に、 $Delta=0$ 度の場合と $Delta=60$ 度の場合の基準磁束軌跡を示す。図5(a)は $Delta=0$ 度の場合であり、従来のDTCに対応する。図5(b)は $Delta=60$ 度の場合である。このように $Delta$ に応じて磁束軌跡が変化するので、インバータ出力電圧も正弦波パターンの高周波スイッチング(HF)からシンプルな矩形波に変化する。図6に、インバータ電圧の波形変化を示す。図6(a)は $Delta=0$ 度の場合、図6(b)は $Delta=60$ 度の場合のインバータ電圧波形である。

[0037] 図7に、従来のDCTにおける磁束軌跡に対し、本実施形態における $Delta$ に応じて磁束軌跡がどのように変化していくかを示す。図7(a)は従来のDCTにおける磁束軌跡である。磁束軌跡は円形状で一定である。これに対し、図7(b)、(c)、(d)は $Delta$ を0度から60度まで順次増大させた場合の磁束軌跡である。図7(e)は、弱磁界の領域である

。  $\Delta \theta$  は、図 3 に示すように基本係数  $f_c$  が増大するに従って 0 度から順次 60 度まで増加していく。モータ速度との関係では、低速域では基本係数  $f_c$  は小さいため、これに応じて  $\Delta \theta$  も小さく、例えば図 7 (a) や図 7 (b) の磁束軌跡である。高速域では基本係数  $f_c$  も大きくなり、これに応じて  $\Delta \theta$  も大きくなり、図 7 (c) や図 7 (d) の磁束軌跡となる。

[0038] さらに、図 8 ~ 図 11 に、それぞれ  $\Delta \theta = 20$  度、40 度、55 度、60 度の場合の磁束軌跡とインバータ電圧との対応関係を示す。 $\Delta \theta$  が小さい場合、位相角が  $\Delta \theta$  内に存在せず、 $60 - \Delta \theta$  の領域に存在する場合が多く、スイッチングテーブルを用いた電圧ベクトルの切替が行われる。 $\Delta \theta$  が大きくなると、位相角が  $\Delta \theta$  内に存在するようになり、スイッチングテーブルを用いた切替が行われず電圧ベクトルはそのまま維持される。この図からも、本実施形態では、 $\Delta \theta$  の変化に応じてインバータ電圧が高周波スイッチングから矩形形状に連続的に変化していくように動作することがわかる。

[0039] なお、 $\Delta \theta$  が 0 度から 60 度まで順次増加すると、その分だけ平均トルクは減少するので、このトルク減少分を補うことが必要となる。このトルク減少分を補うのがトルク補償器 14 であり、デルタ演算器 36 で演算された  $\Delta \theta$  に応じて不足するトルクを基準トルク  $T_e$  を補正することで補償する。 $\Delta \theta$  が増加するに従い、磁束軌跡は六角形状に変化して平均トルクが減少するから、補償トルクは  $\Delta \theta$  が増加するほど大きく設定する（図 3 参照）。補償トルクは差分器 16 に供給される。

[0040] 以上説明したように、本実施形態の駆動制御方法では、すべての速度域においてシームレスなトルク制御が可能である。そして、基準トルク  $T_e^*$  と現在のトルク  $T_e$  との誤差  $\Delta T_e$  に応じて角度  $\Delta \theta$  が連続的に変化していくと、これにตอบสนองしてインバータのスイッチングパターンも連続的に変化していく。したがって、高周波パターンから矩形パターンにわたってインバータ電圧は滑らかに変化し、トルク変動を抑制することができる。トルク変

動は、モード切替時に生じるものであるところ、本実施形態では単一のモードで動作するからである。本実施形態の駆動方法は単一モードであるから、従来の複数モードを切り替える駆動方法に比べてシンプルである。また、本実施形態では、トルクと磁束が直接演算されるため、計算が簡単である。また、本実施形態ではトルクを直接制御するため、レスポンスも速い利点がある。

[0041] 図12～図16に、永久磁石同期モータでのコンピュータシミュレーション結果を示す。図12(a)はモータトルクと負荷トルクの時間変化を示しており、符号100がモータトルク、符号200が負荷トルクを示す。図12(b)はモータ速度の時間変化を示す。また、図12(c)は磁束の時間変化を示す。図13はモータ速度の変化に対応するインバータのスイッチングパターンを示す。モータ速度が増大するに従い、スイッチングパターンはシームレスに変化していく。図14～図16は磁束軌跡とインバータ電圧の変化をそれぞれ示す。シミュレーション結果より、本実施形態の駆動方法により、全ての速度域にわたって、単一モードでのシームレスな制御が可能であることが分かる。

[0042] ところで、基準磁束軌跡演算器32は、上記のようにデルタ演算器36からの角度 $\Delta$ と、位相角 $\rho_s$ と、基準磁束 $\psi^*$ を用いて基準磁束軌跡を演算し、最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ と最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ とを演算するが、インバータ26のスイッチングトランジスタのスイッチング動作には物理的な遅れがあるため、理論値と実際の値との間には誤差あるいはオフセットが生じ得る。そこで、基準磁束軌跡演算器32は、このようなオフセットも考慮して、最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ と最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ を決定するのが好適である。具体的には、基準磁束軌跡演算器32では、基準磁束 $\psi^*$ からオフセットを考慮した新基準磁束 $\psi_{new}^*$ を生成し、この新基準磁束 $\psi_{new}^*$ から最大基準磁束 $\psi_{max}^*$ と最小基準磁束 $\psi_{min}^*$ を生成するのが好適である。

[0043] 図21に、この場合の基準磁束軌跡演算器32を構成する基準磁束軌跡演

算ユニット32aの概念構成ブロック図を示す。基準磁束軌跡演算ユニット32aには、デルタ演算器36からの角度 $\Delta$ と、位相角 $\rho_s$ と、基準磁束 $\psi^*$ が供給される。基準磁束軌跡演算ユニット32aは、これらの物理量からオフセットを演算し、演算したオフセットを用いて新基準磁束 $\psi_{new}^*$ を生成する。

- [0044] 図22に、基準磁束軌跡演算ユニット32aの詳細構成ブロック図を示す。基準磁束軌跡演算ユニット32aは、理論 $\Delta$ 中心計算器32bと、オフセット評価器32cと、加算器32dと、 $\alpha$ 計算器32eと、磁束 $\psi_{new}^*$ 計算器32fから構成される。理論 $\Delta$ 中心計算器32bは、位相角 $\rho_s$ から理論的な $\Delta$ 中心角を計算して出力する。
- [0045] オフセット評価器32cは、位相角 $\rho_s$ と基準磁束 $\psi^*$ からオフセットを計算して出力する。
- [0046] 加算器32dは、理論 $\Delta$ 中心計算器32bで計算された理論 $\Delta$ 中心と、オフセット評価器32cで評価されたオフセットとを加算することで実際の $\Delta$ 中心を算出し出力する。
- [0047]  $\alpha$ 計算器32eは、実際の $\Delta$ 中心と位相角 $\rho_s$ から $\alpha$ を計算して出力する。ここで、 $\alpha$ は、実際の $\Delta$ 中心と位相角 $\rho_s$ との間の角度として定義される。
- [0048] 磁束 $\psi_{new}^*$ 計算器32fは、計算された $\alpha$ と、デルタ演算器36で演算された角度 $\Delta$ と、基準磁束 $\psi^*$ に基づいて、新基準磁束 $\psi_{new}^*$ を計算して出力する。
- [0049] 図23に、一例として、角度 $\Delta = 60^\circ$ における磁束軌跡を示す。既述したように、角度 $\Delta$ を0度から60度まで変化させると、基準磁束は円形から六角形に変化する。このとき、スイッチング誤差がなければ六角形の頂点は図17のスイッチングモードに対応してそれぞれ30度、90度、150度、210度、270度、330度に一致するはずであるが、スイッチング誤差のために実際の磁束軌跡はこれらの角度からずれる。図24に、スイッチング誤差によるオフセットが生じている場合に、これを考

慮することなくインバータ 26 を駆動した場合の磁束軌跡を示す。本来であれば磁束軌跡は六角形となるところ、オフセットがあるため余分なスイッチングが生じて六角形を維持することができず、インバータ 26 の駆動効率が低下してしまう。そこで、本実施形態では、このようなずれ、すなわちオフセットを補償することで正確な制御を可能とする。

[0050] 図 25 に、オフセット評価器 32 c の詳細構成ブロック図を示す。オフセット評価器 32 c は、磁束セクタ計算器 32 g と、ルックアップテーブル 32 h と、実際角計算器 32 i と加算器 32 j から構成される。

[0051] 磁束セクタ計算器 32 g は、位相角  $\rho_s$  から磁束セクタを計算する。磁束セクタは、360度を6等分に分割した場合の各セクタであり、例えば0度から60度を第1セクタ、60度から120度を第2セクタ等と設定する。位相角  $\rho_s$  がどのセクタに含まれているかを判定し、セクタ番号  $n$  を出力する。

[0052] ルックアップテーブル 32 h は、各セクタ毎に基準磁束の理論角度を予めテーブルとして保持しておき、セクタ番号  $n$  に対応する理論角度を出力する。例えば、セクタ番号  $n = 1$ 、すなわち第1セクタの理論角度は30度等である。

[0053] 一方、実際角計算器 32 i は、位相角  $\rho_s$  と基準磁束  $\psi^*$  から、実際の基準磁束の角度を計算する。実際の角度は、

$$B = |\psi(k)^*| \sin(\psi_s(k)) - |\psi(k-1)^*| \sin(\psi_s(k-1))$$

$$A = |\psi(k)^*| \cos(\psi_s(k)) - |\psi(k-1)^*| \cos(\psi_s(k-1))$$

として、

$$\text{実際の角度} = \tan^{-1}(B/A)$$

により算出される。但し、 $\psi(k)^*$  は現在の基準磁束であり、 $\psi(k-1)^*$  はその1つ前の基準磁束であることを示す。同様に、 $\rho_s(k)$  は現在の位相角であり、 $\rho_s(k-1)$  はその1つ前の位相角であることを示す。

[0054] 加算器 32 j は、理論角度と、実際の角度との差分を演算することでオフセットを算出する。従って、例えば理論角度が 30 度である場合には、

$$\text{オフセット} = 30 \text{度} - \tan^{-1}(B/A)$$

によりオフセットが算出される。

[0055] 以上のようにしてオフセットが算出された後、図 22 に示されるように、このオフセットを用いて角度 Delta 中心が加算器 32 d により修正され、アルファ計算器 32 e により  $\alpha$  が計算される。

[0056] 図 26 及び図 27 に、Delta 中心と角度  $\alpha$  との関係を示す。図 26 は、図 4 に示す基準磁束軌跡を、横軸に位相角、縦軸に基準磁束として展開した場合の基準磁束変化を示す。また、図 27 は、図 26 における位相角 30 度から 90 度までの一部拡大図である。既述したように、Delta の領域は基準磁束は一定であり、60-Delta の領域は基準磁束は変動する。図 26 に示すように、理論的には Delta 中心は 60 度であるが、実際にはオフセットが生じて Delta 中心は 60 度からずれる。実際の Delta 中心は、加算器 32 d により算出される、理論 Delta 中心 + オフセットである。アルファ計算器 32 e は、実際の Delta 中心と位相角  $\rho_s$  とを用いて、これらの間の角度  $\alpha$  を求める。

[0057]  $\alpha$  が算出されると、磁束  $\psi_{\text{new}}^*$  計算器 32 f は、 $\alpha$  と基準磁束  $\psi^*$  と角度 Delta とを用いて新基準磁束  $\psi_{\text{new}}^*$  を計算する。具体的には、

$$\psi_{\text{new}}^* = \{ \cos(\text{Delta}/2) / \cos(\alpha) \} \cdot \psi^*$$

により算出する。

[0058] 以上のようにして、オフセットを考慮した新基準磁束  $\psi_{\text{new}}^*$  を用いてインバータ 26 が制御される。

[0059] 図 28 に、本実施形態のシミュレーション結果を示す。図 28 (a) は、Delta = 0 度の場合の基準磁束軌跡であり、図 28 (b) は Delta = 60 度の場合の基準磁束軌跡である。Delta = 0 度の場合には基準磁束  $\psi_{\text{new}}^*$  は一定であり、これに応じて最大基準磁束  $\psi_{\text{max}}^*$  及び最小基準磁束  $\psi_{\text{min}}^*$  も一定値であり、これらを用いて電圧ベクトルを切り替える

。すなわち、基準磁束 $\psi_{new}^*$ が最大基準磁束 $\psi_{max}^*$  ( $=\psi_{new}^*+\Delta\psi$ :  $\Delta\psi$ は所定値) より大きい場合、あるいは基準磁束 $\psi_{new}^*$ が最小基準磁束 $\psi_{min}^*$  ( $=\psi_{new}^*-\Delta\psi$ ) より小さい場合に図19の切替パターンテーブルを用いて電圧ベクトルが選択される。一方、 $\Delta=60$ 度の場合には、スイッチングが行われることなく基準磁束 $\psi_{new}^*$ は変動する。

[0060] なお、本実施形態では、ヒステリシスループを用いたDTCシステムにおいてオフセットを考慮した基準磁束軌跡の補正について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば空間ベクトル変調(SVM)を用いてDTCシステム(DTC-SVM)や、定スイッチング周波数(CSF)を用いたDTC(DTC-CSF)にも同様に適用することができる。

### 符号の説明

[0061] 10 差分器、12 比例積分器、14 トルク補償器、16 差分器、18 トルク比較器、20 差分器、22 磁束比較器、24 切替パターン演算器、26 インバータ、28 モータ、30 評価器、32 基準磁束軌跡演算器、34 基本コンポーネント演算器、36 デルタ( $\Delta$ )演算器。

## 請求の範囲

### [請求項1]

交流電動機の駆動制御装置であって、  
基準トルクと現在トルクのトルク誤差、及び交流電動機の速度に応じて基本係数を演算する基本係数演算手段と、  
前記基本係数を用いて非切替領域を規定する角度  $\Delta$  を演算するデルタ演算手段と、  
前記角度  $\Delta$  と基準磁束に応じて最大基準磁束及び最小基準磁束を演算する基準磁束軌跡演算手段と、  
基準トルクと現在トルクとのトルク誤差、基準磁束と現在磁束の磁束誤差、磁束の位相角、及び前記角度  $\Delta$  に応じて演算された最大基準磁束及び最小基準磁束に応じて交流電動機を駆動するインバータの出力電圧ベクトルを選択する切替パターン演算手段と、  
を備えることを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

### [請求項2]

請求項1記載の装置において、さらに、  
前記角度  $\Delta$  に応じたトルク減少分を補償すべく基準トルクを補正するトルク補償手段  
を備えることを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

### [請求項3]

請求項1記載の装置において、  
前記デルタ演算手段は、前記基本係数に応じ、前記基本係数が増加するに従って0度から60度まで順次増加するように前記角度  $\Delta$  を演算することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

### [請求項4]

請求項1記載の装置において、  
前記切替パターン演算手段は、現在磁束が前記最大基準磁束と前記最小基準磁束との間にあり、前記位相角が前記角度  $\Delta$  で規定される前記非切替領域内にあり、かつ、現在の出力電圧ベクトルがゼロベクトルでない場合に現在の出力電圧ベクトルを切り替えることなく維持し、現在磁束が前記最大基準磁束と前記最小基準磁束との間になく、あるいは前記位相角が前記角度  $\Delta$  で規定される前記非

切替領域内になく、あるいは、現在の出力電圧ベクトルがゼロベクトルである場合に予め設定された切替パターンテーブルに従って出力電圧ベクトルを選択する

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項5]

請求項1記載の装置において、

前記基準磁束軌跡演算手段は、

前記インバータの出力電圧ベクトルの切替タイミングに対応する理論的な基準磁束軌跡の角度と実際の角度とのずれであるオフセットを演算するオフセット算出部と、

前記オフセットを用いて基準磁束を補正する基準磁束補正部と、

を備えることを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項6]

請求項5記載の装置において、

前記基準磁束補正部は、

前記オフセットを用いて角度 $\Delta$ の中心位置を補正する中心位置補正部と、

補正された角度 $\Delta$ の中心位置と前記位相角との間の角度 $\alpha$ を算出する $\alpha$ 算出部と、

を備え、前記角度 $\alpha$ 及び角度 $\Delta$ を用い、前記基準磁束に $\cos(\Delta/2) / \cos(\alpha)$ を乗じることで前記基準磁束を補正することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項7]

交流電動機の駆動制御装置に用いられる基準磁束演算装置であって、

基準トルクと現在トルクのトルク誤差、及び交流電動機の速度に応じて基本係数を演算する基本係数演算手段と、

前記基本係数を用いて非切替領域を規定する角度 $\Delta$ を演算するデルタ演算手段と、

インバータの出力電圧ベクトルの切替タイミングに対応する理論的な基準磁束軌跡の角度と実際の角度とのずれであるオフセットを演算

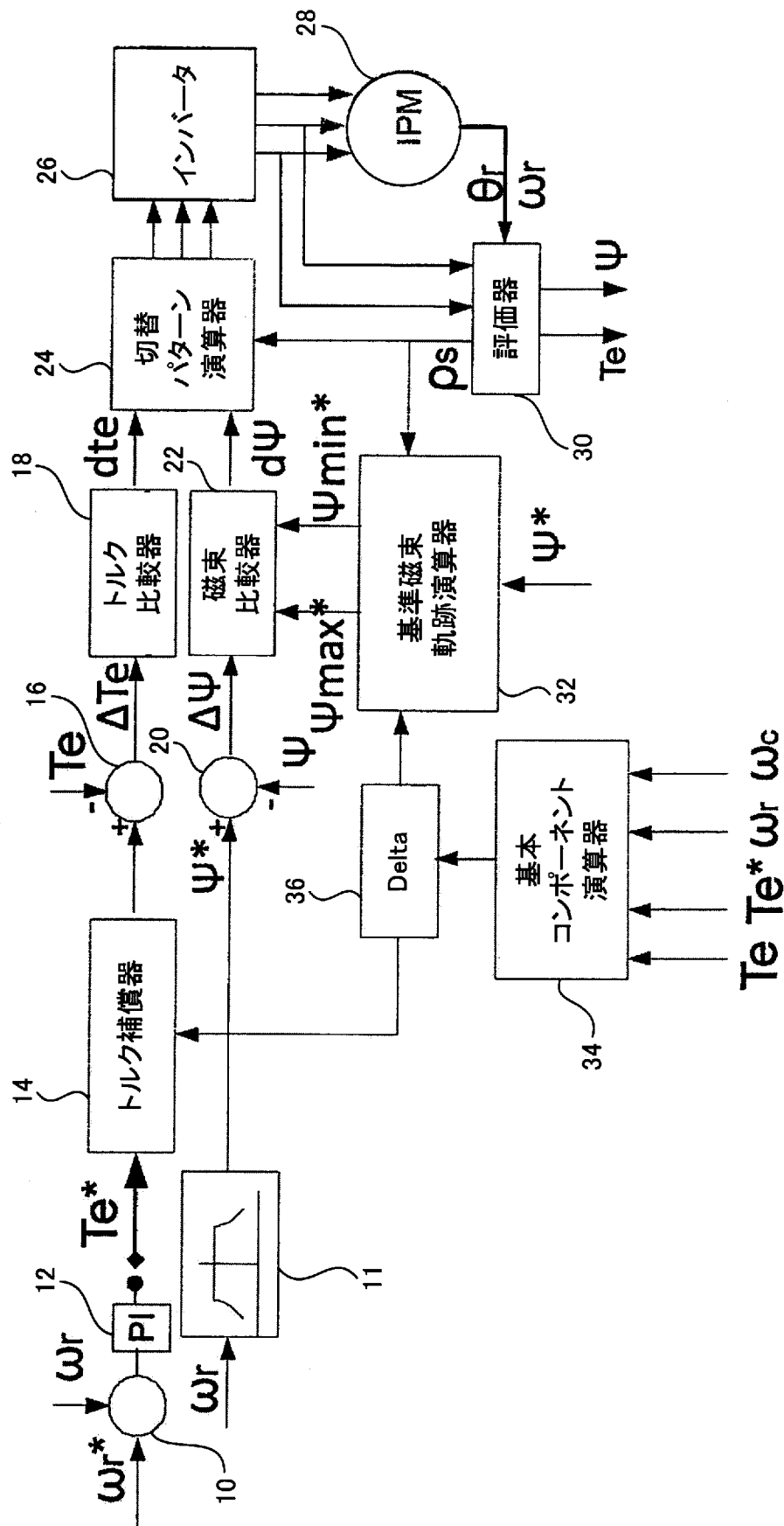
するオフセット算出部と、

前記オフセットを用いて角度  $\Delta$  の中心位置を補正する中心位置補正部と、

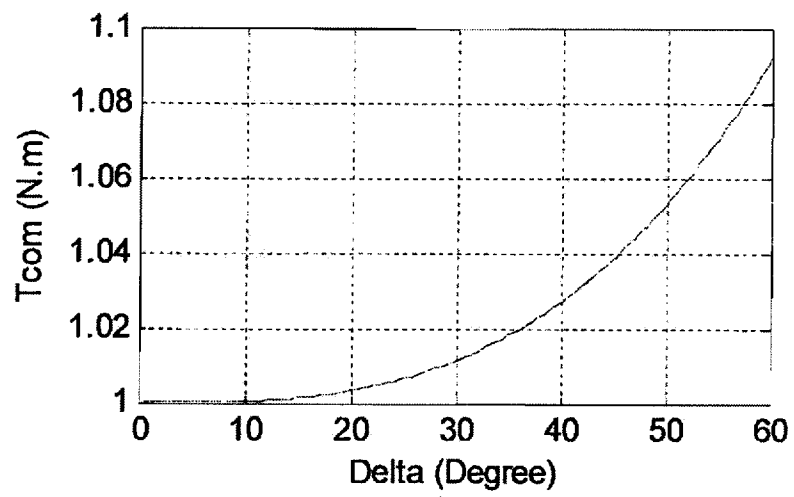
補正された角度  $\Delta$  の中心位置と位相角との間の角度  $\alpha$  を算出する  $\alpha$  算出部と、

を備え、前記角度  $\alpha$  及び角度  $\Delta$  を用い、前記基準磁束に  $\cos(\Delta/2) / \cos(\alpha)$  を乗じることで基準磁束を補正することを特徴とする基準磁束演算装置。

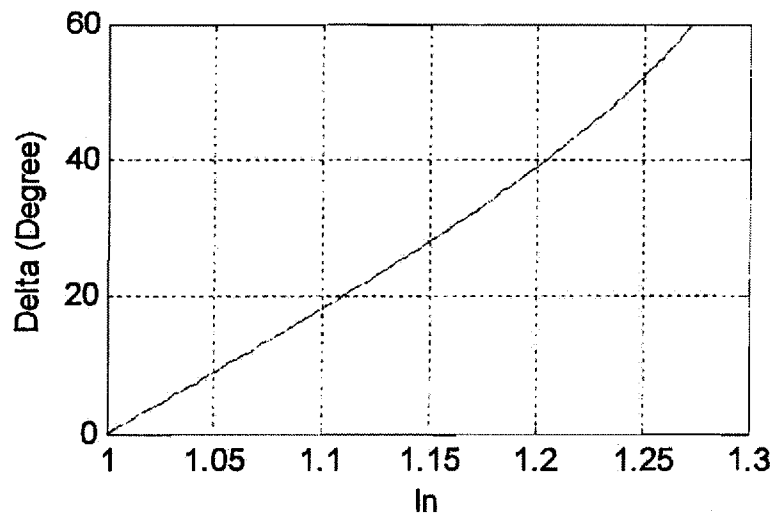
[図1]



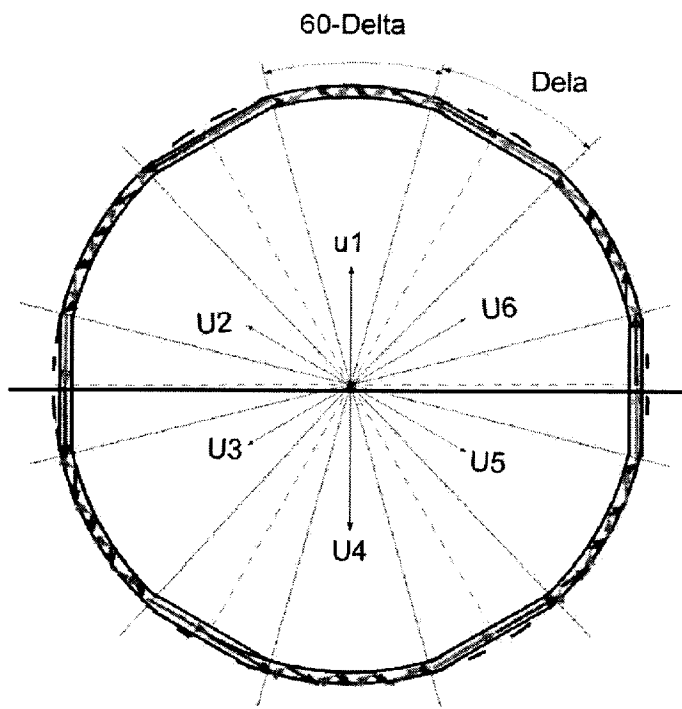
[図2]



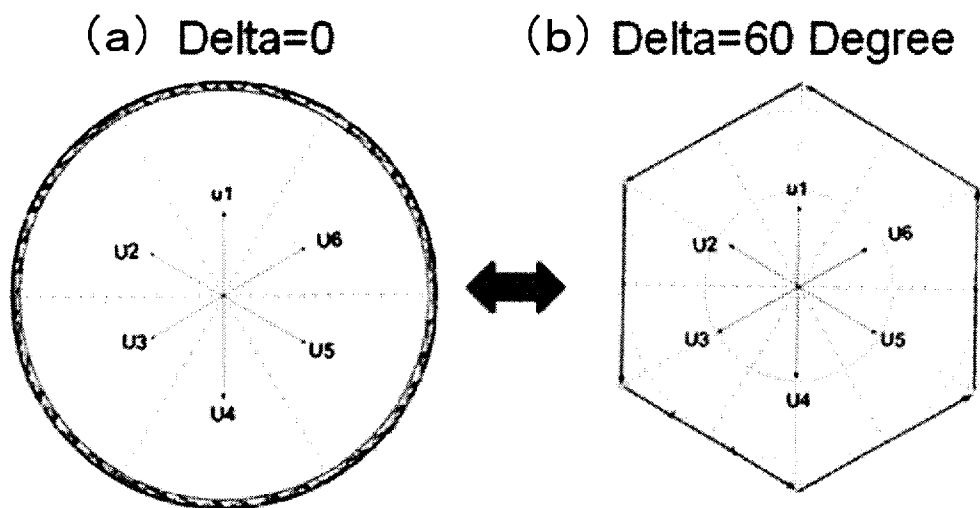
[図3]



[図4]

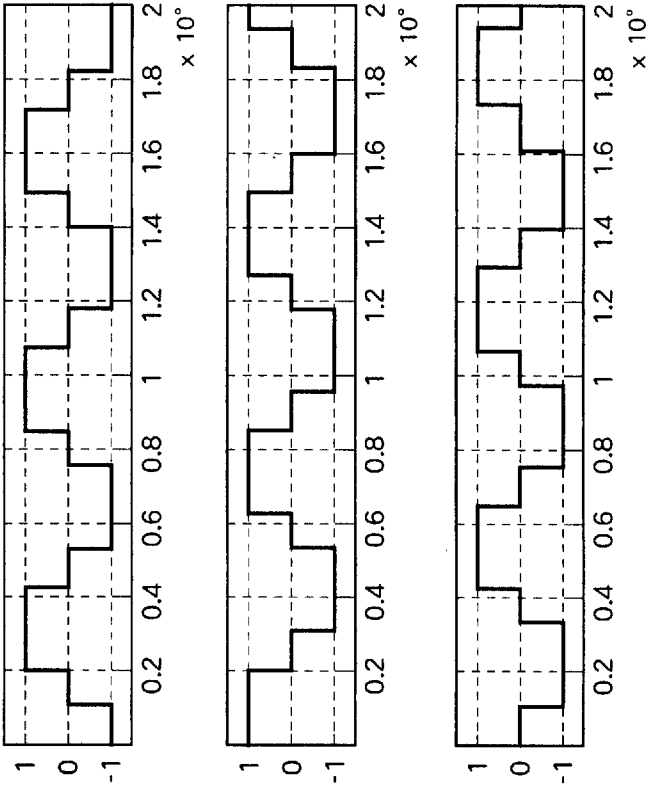


[図5]

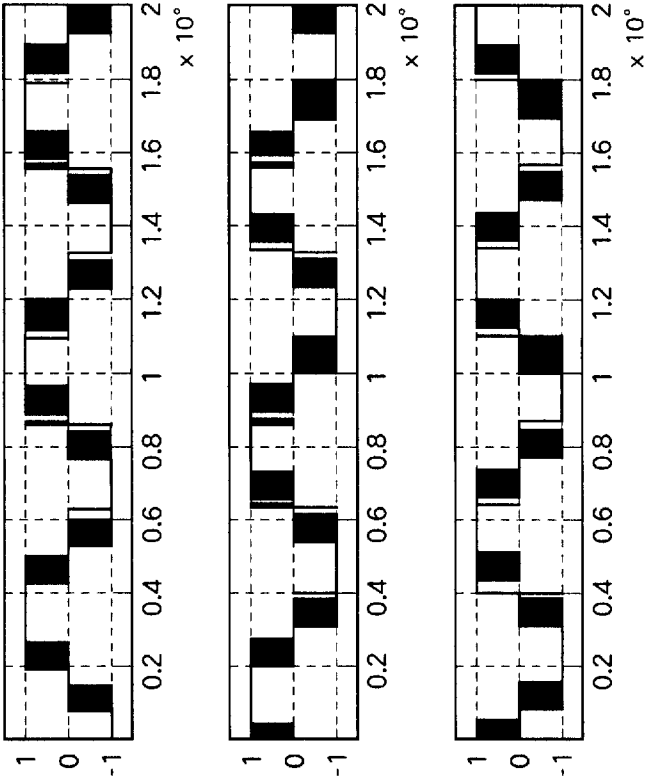


[図6]

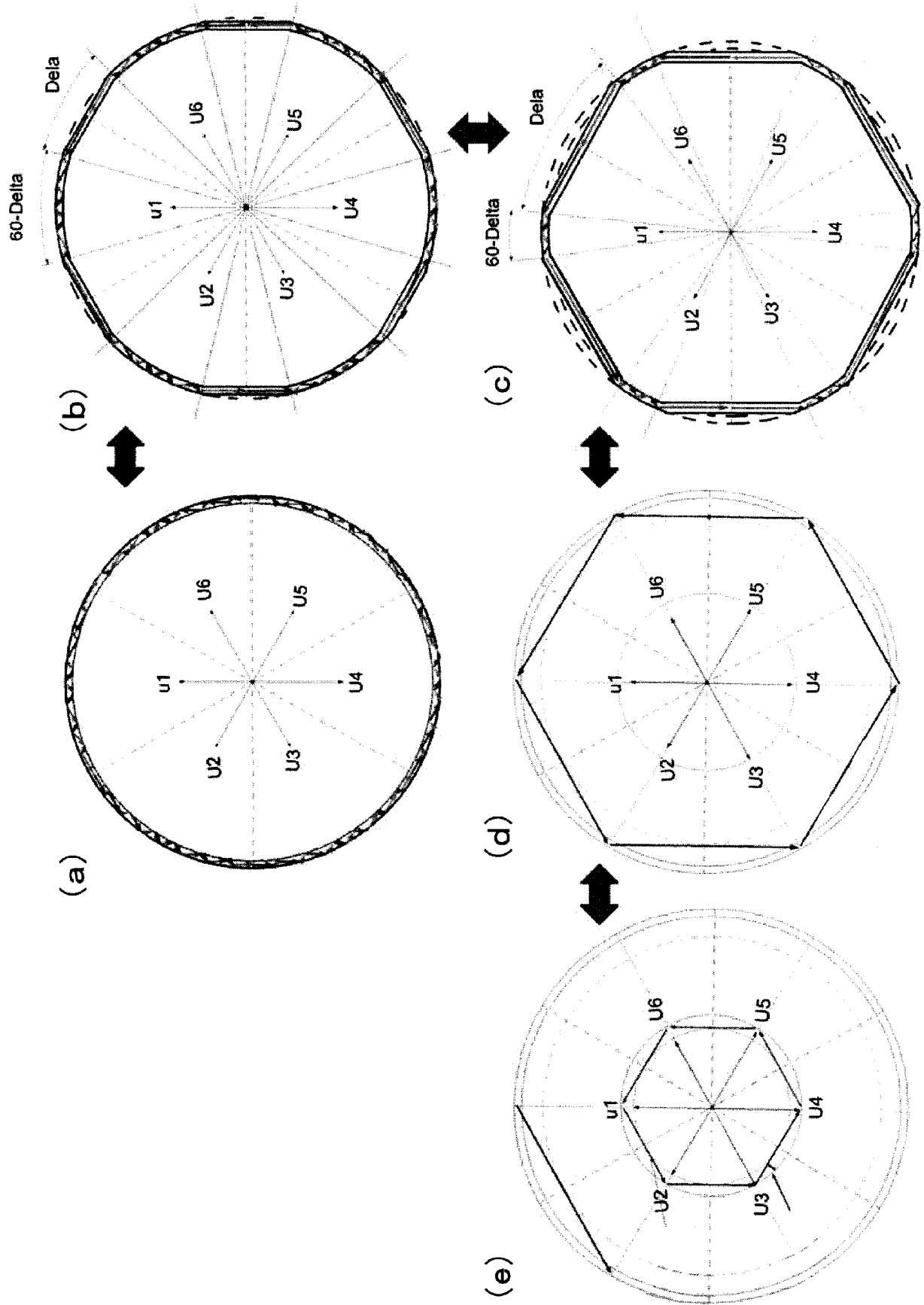
(b) Delta=60



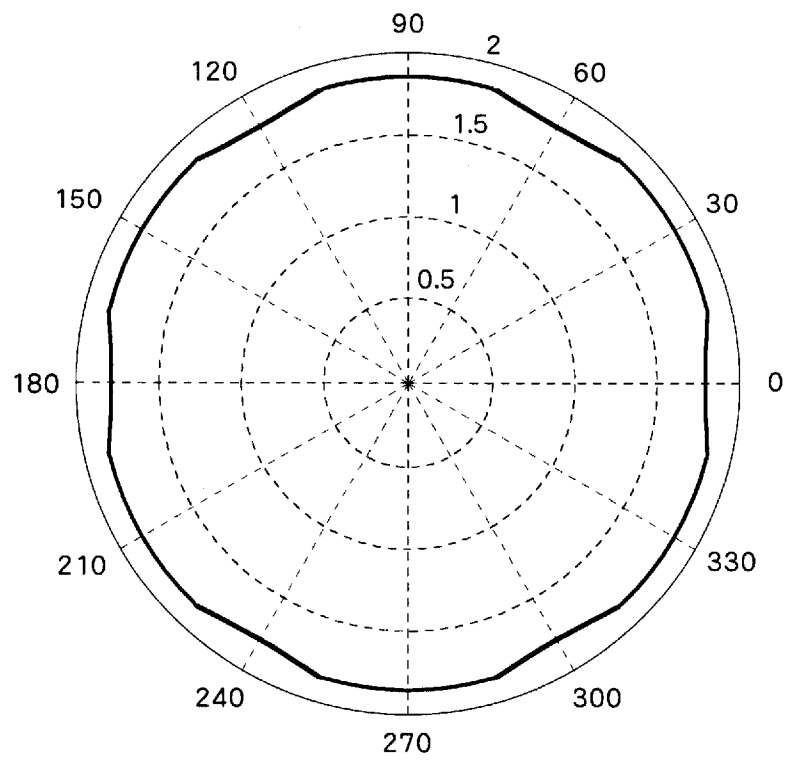
(a) Delta=0



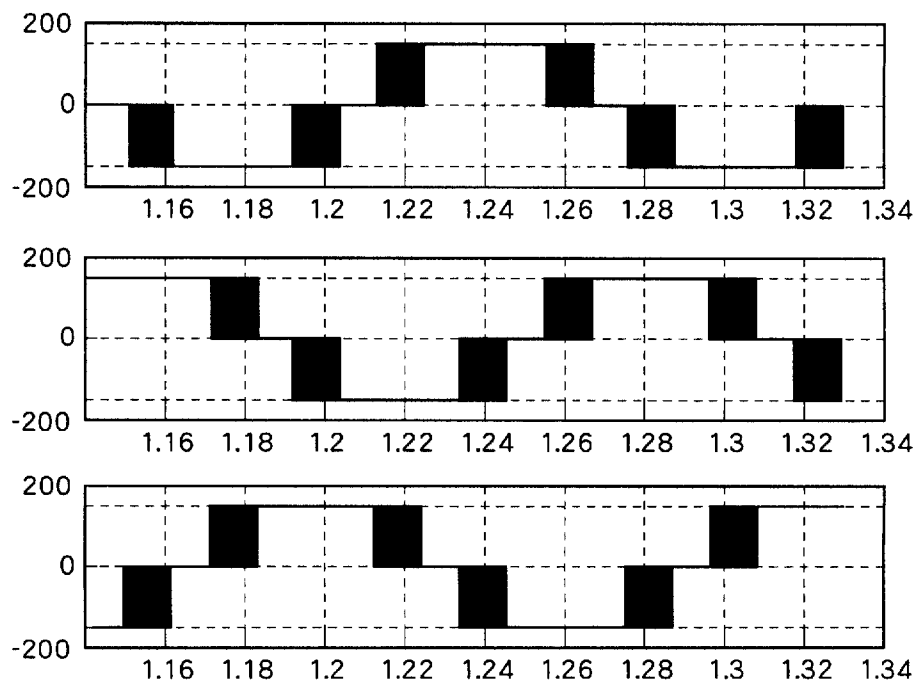
[Fig. 7]



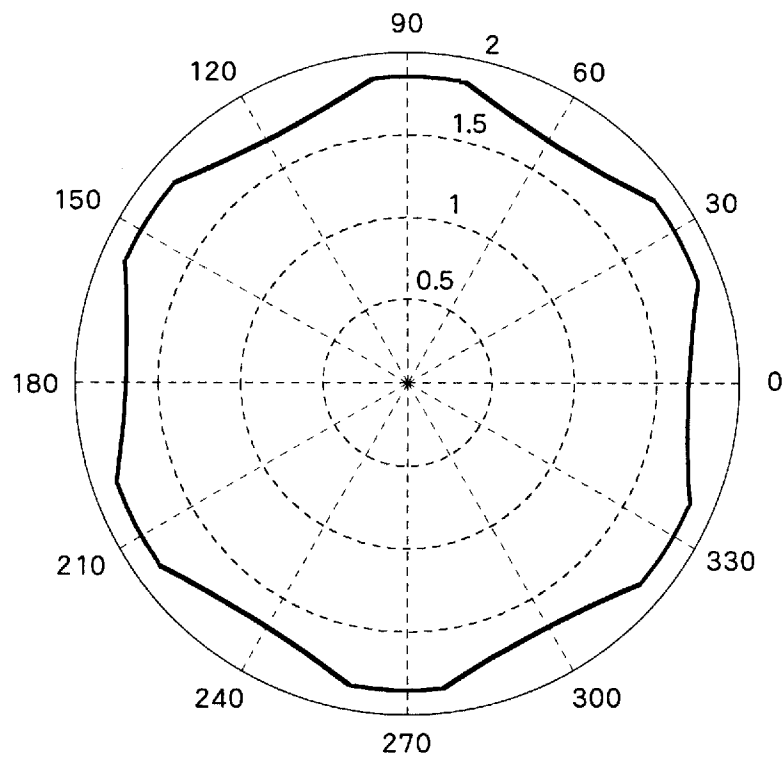
[図8]

(a)  $\Delta = 20$  degree

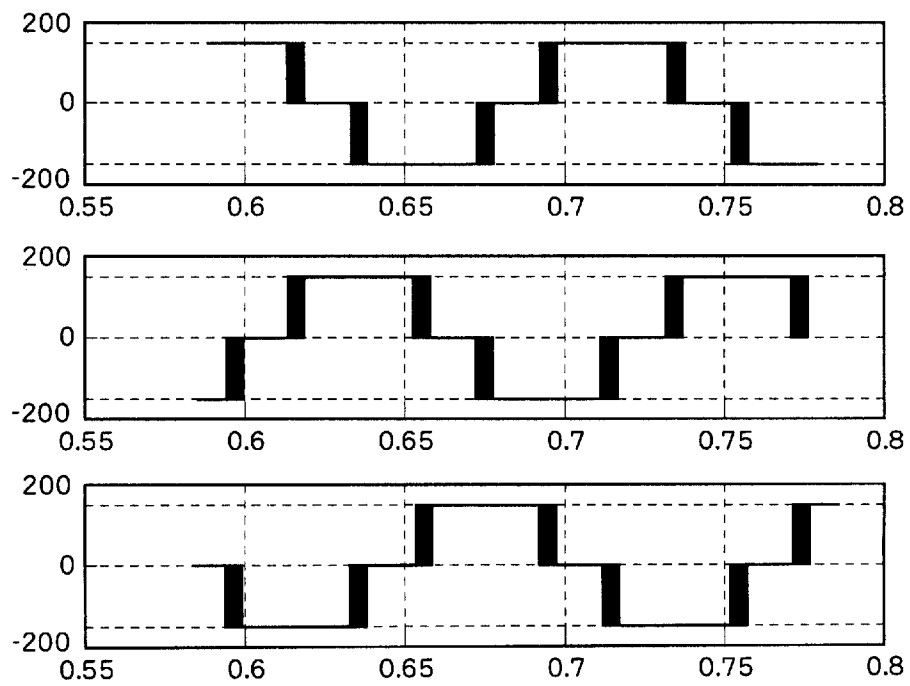
(b)



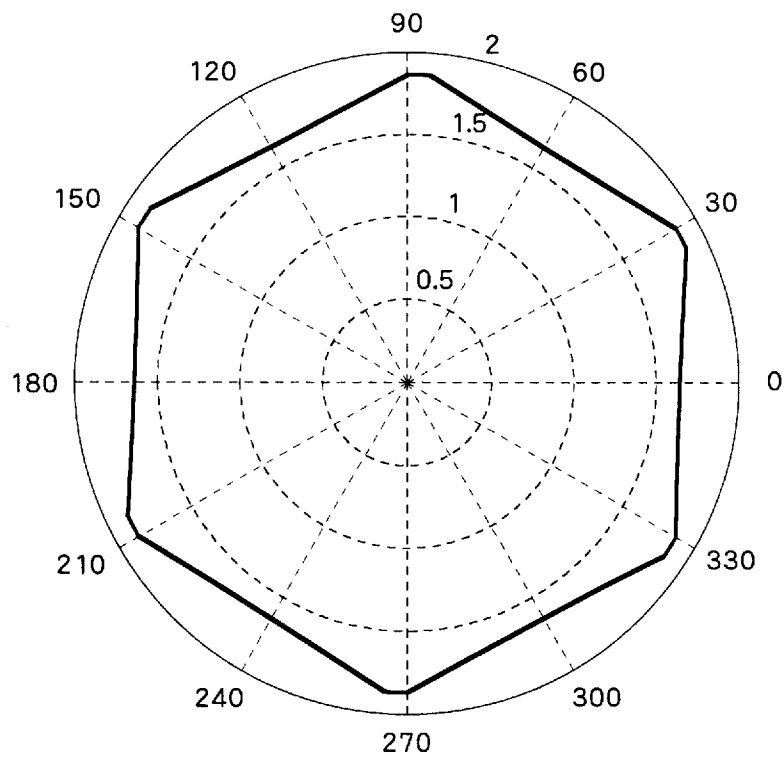
[図9]

(a)  $\Delta = 40^\circ$ 

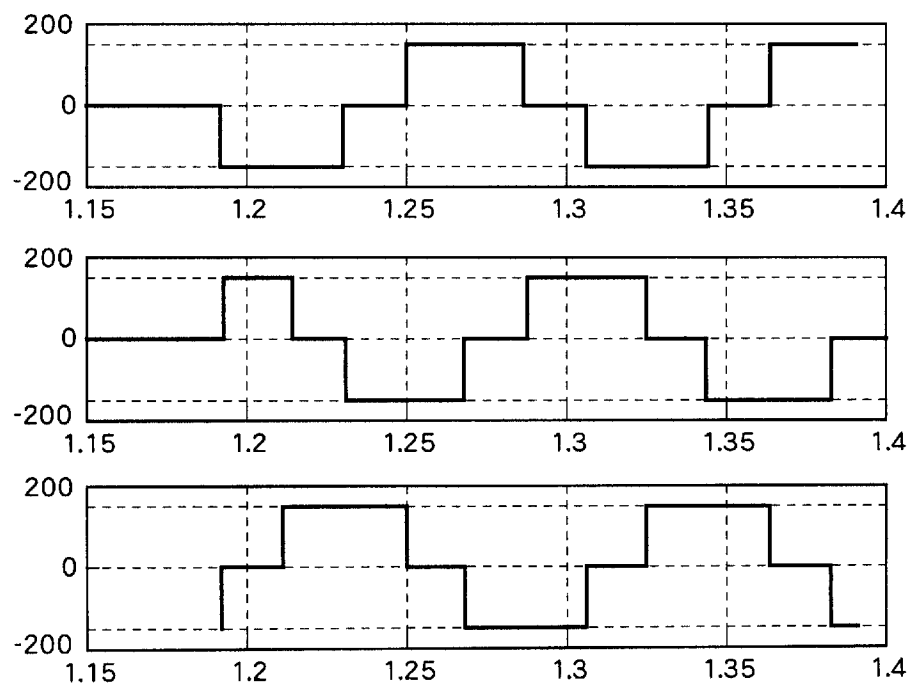
(b)



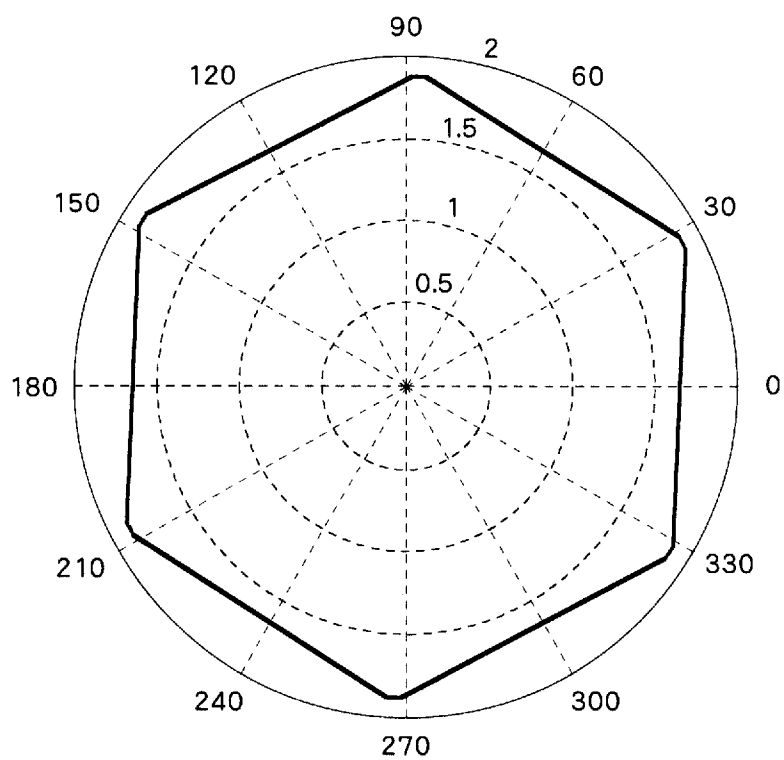
[図10]

(a)  $\Delta = 55^\circ$ 

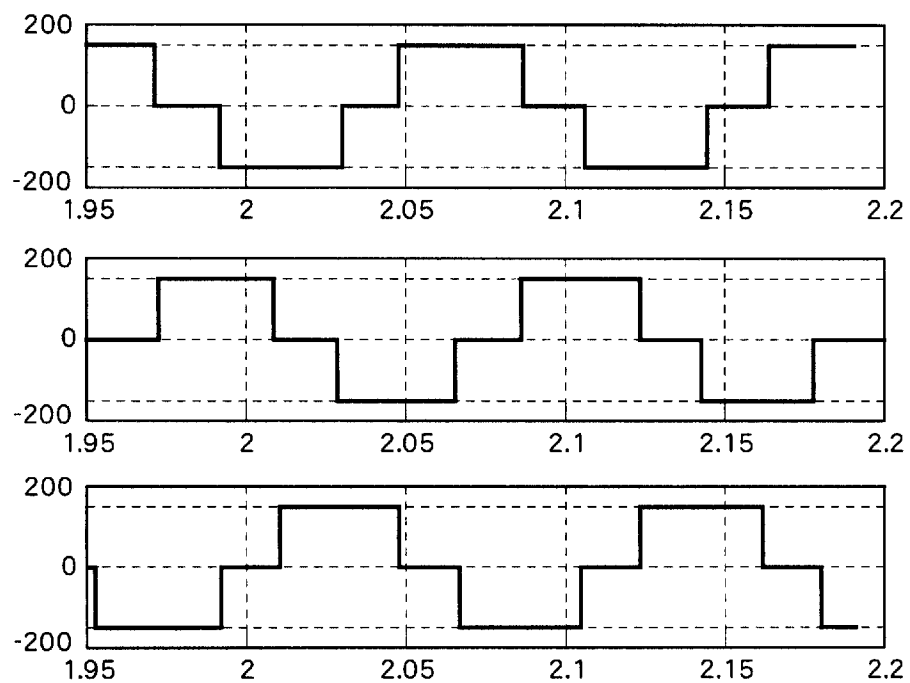
(b)



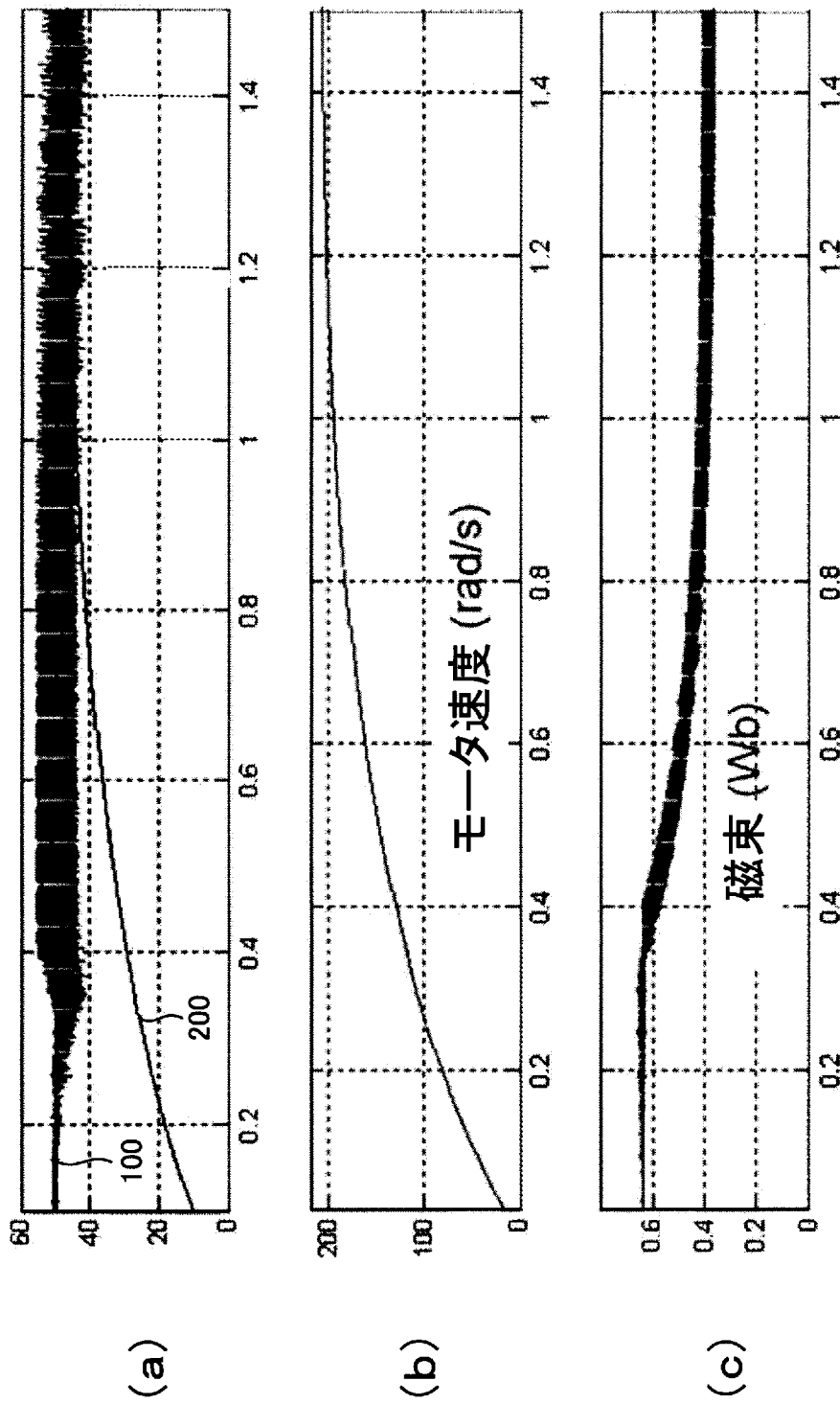
[図11]

(a)  $\Delta = 60$  degree

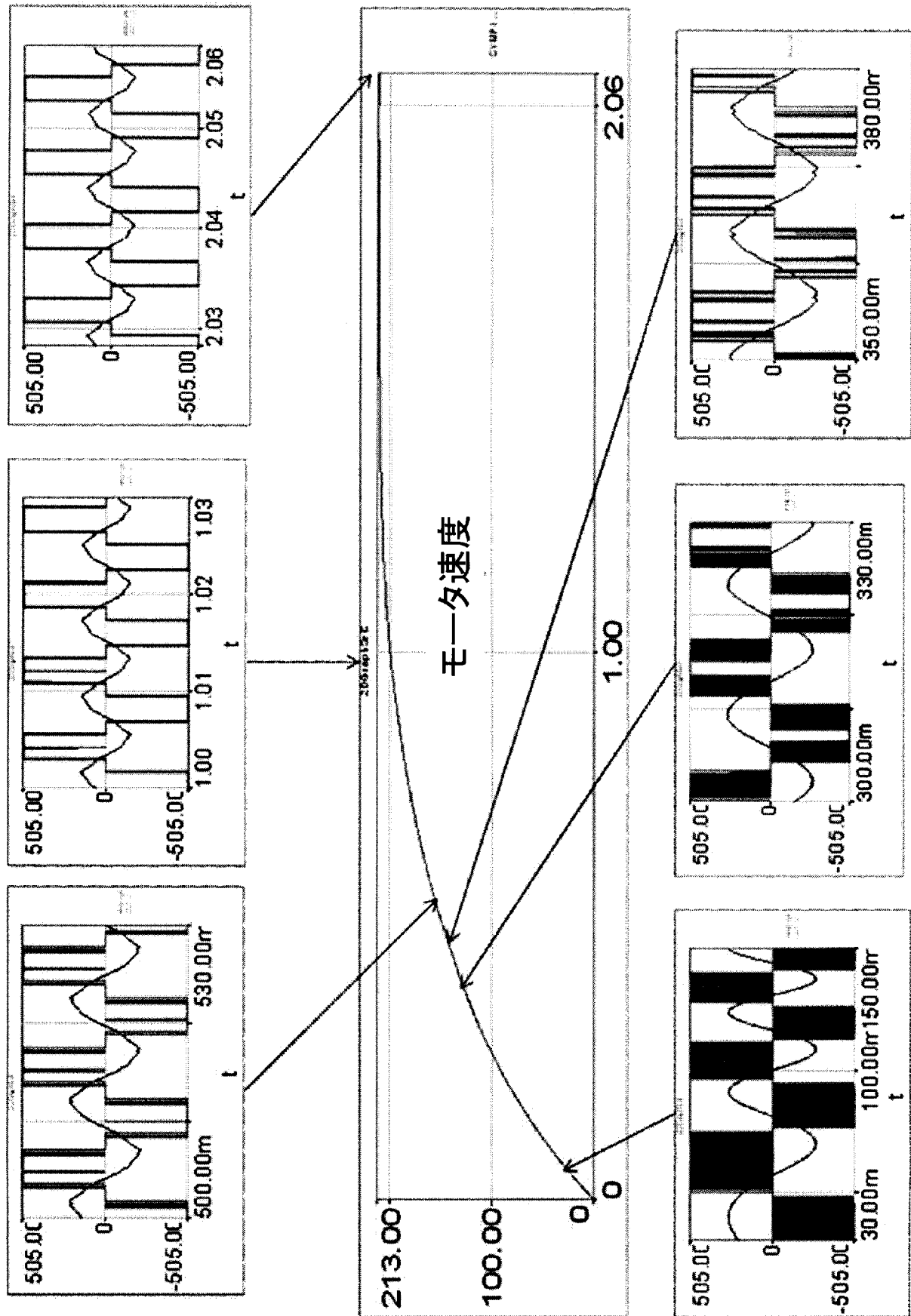
(b)



[図12]

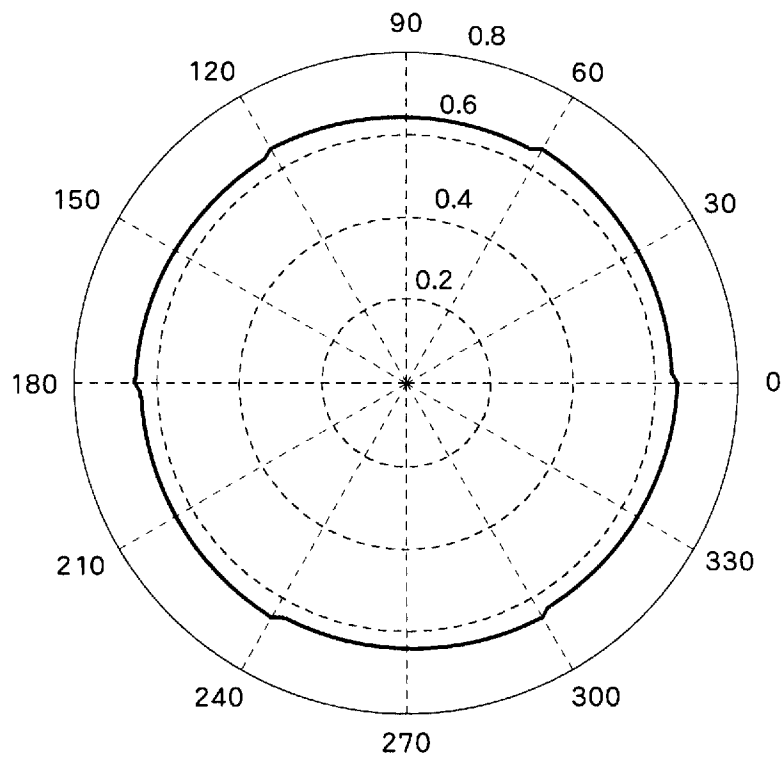


[図13]

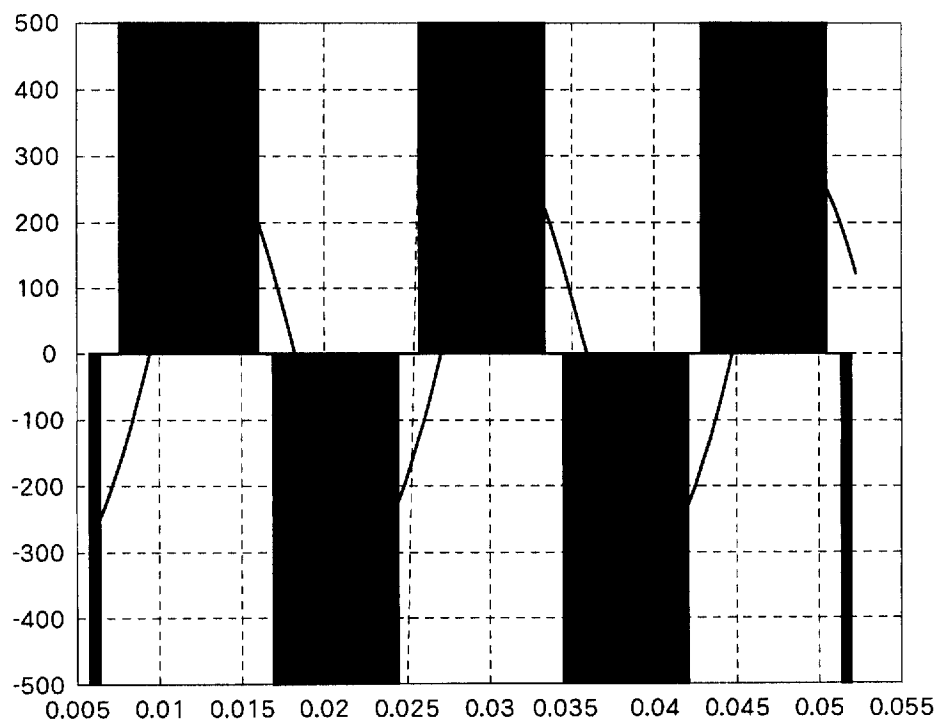


[図14]

(a)

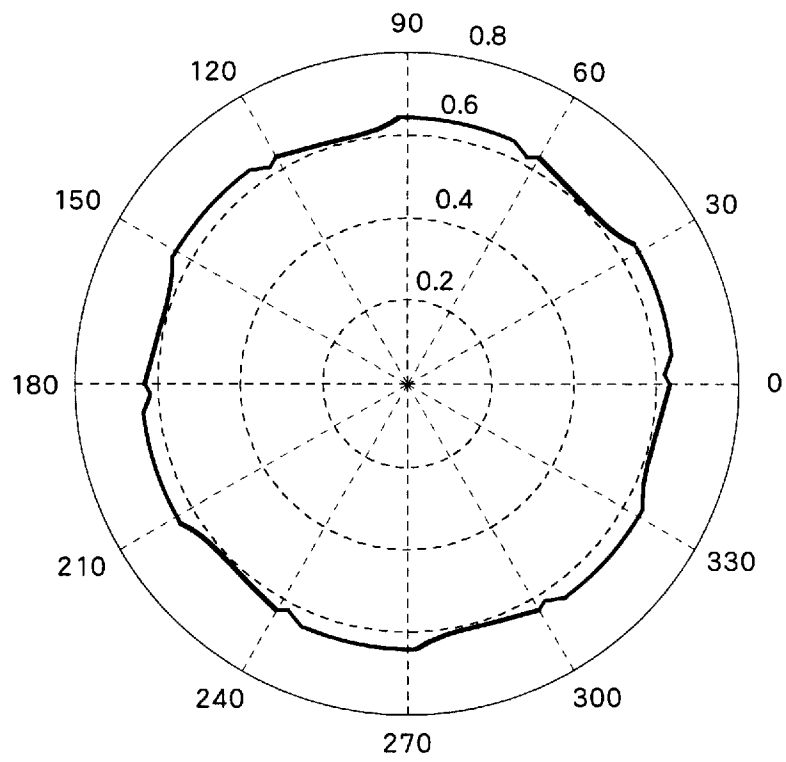


(b)

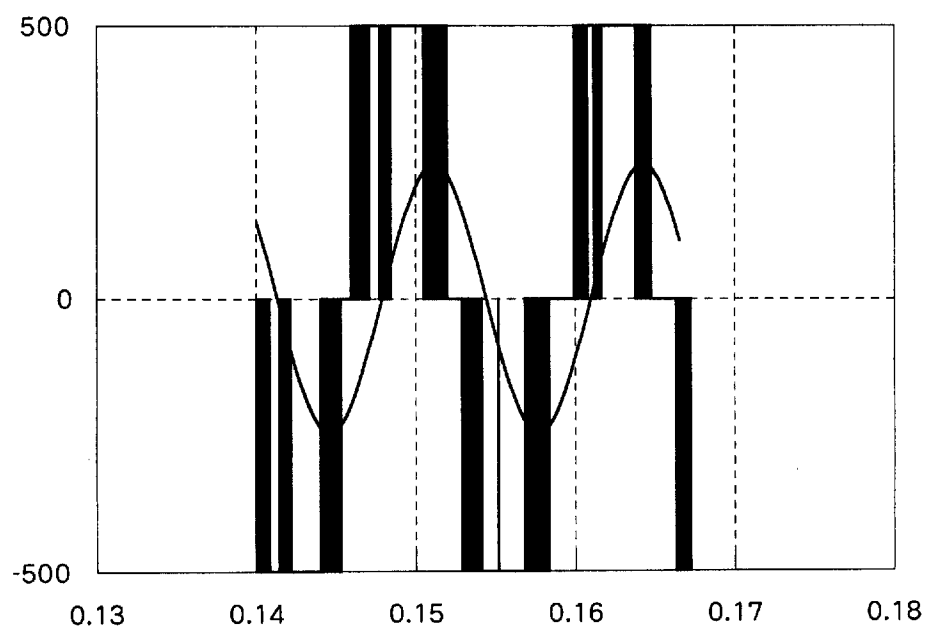


[図15]

(a)

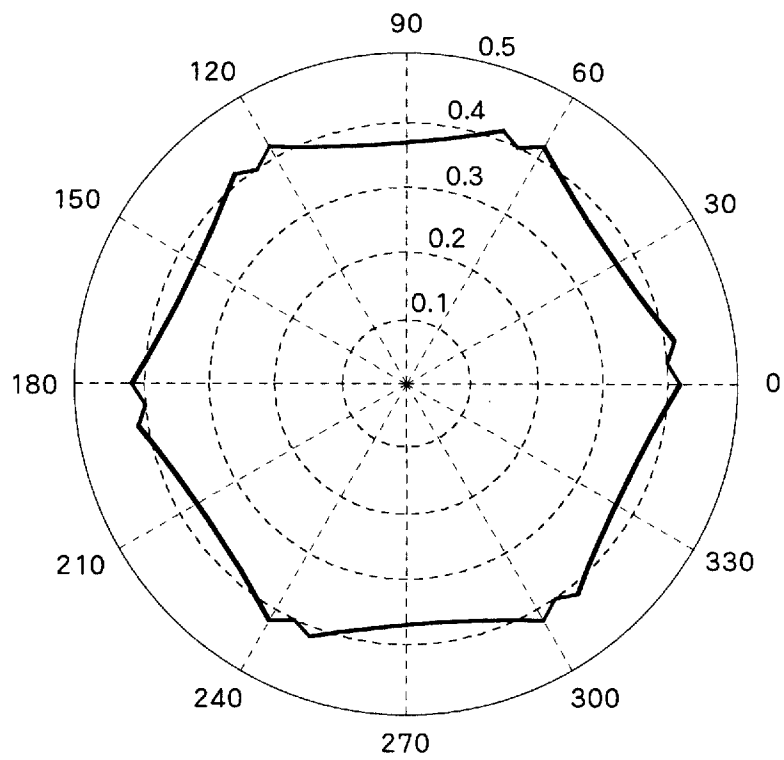


(b)

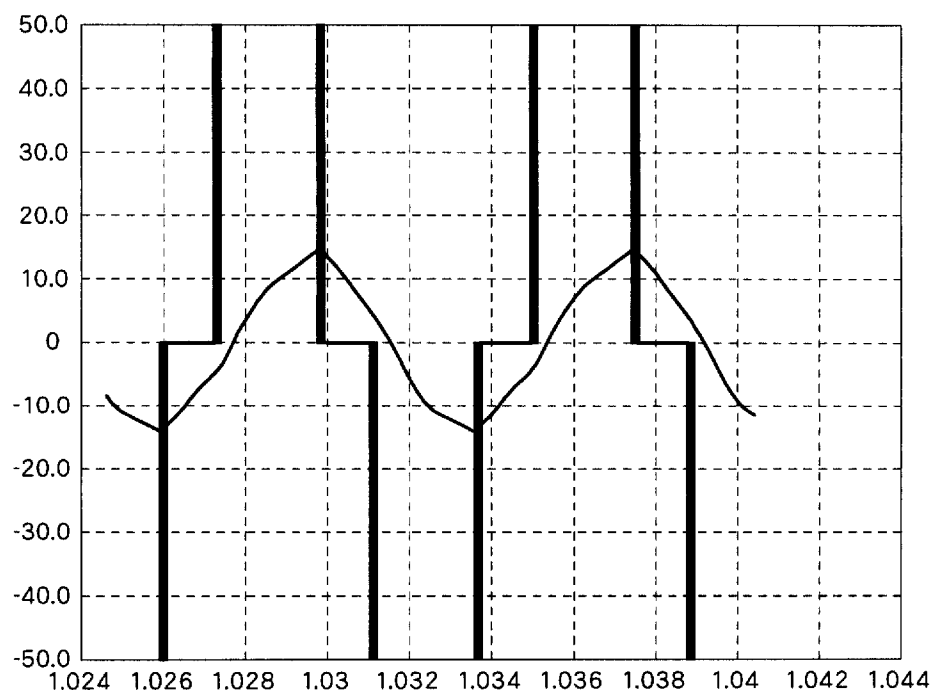


[図16]

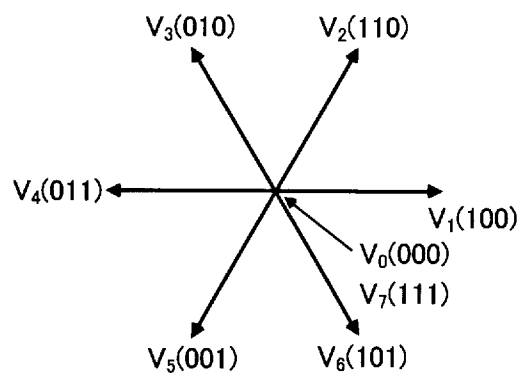
(a)



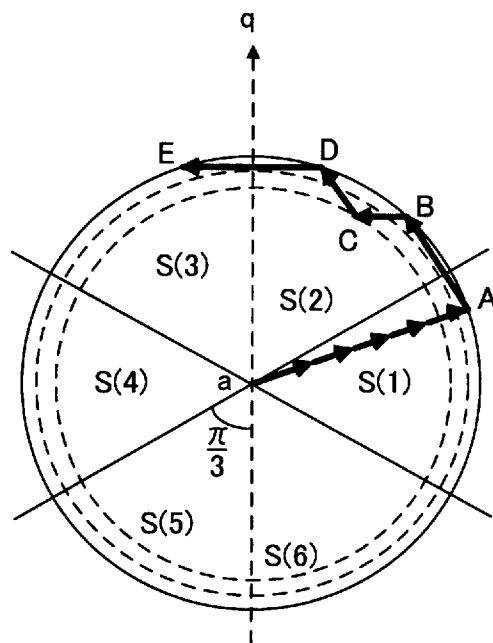
(b)



[図17]



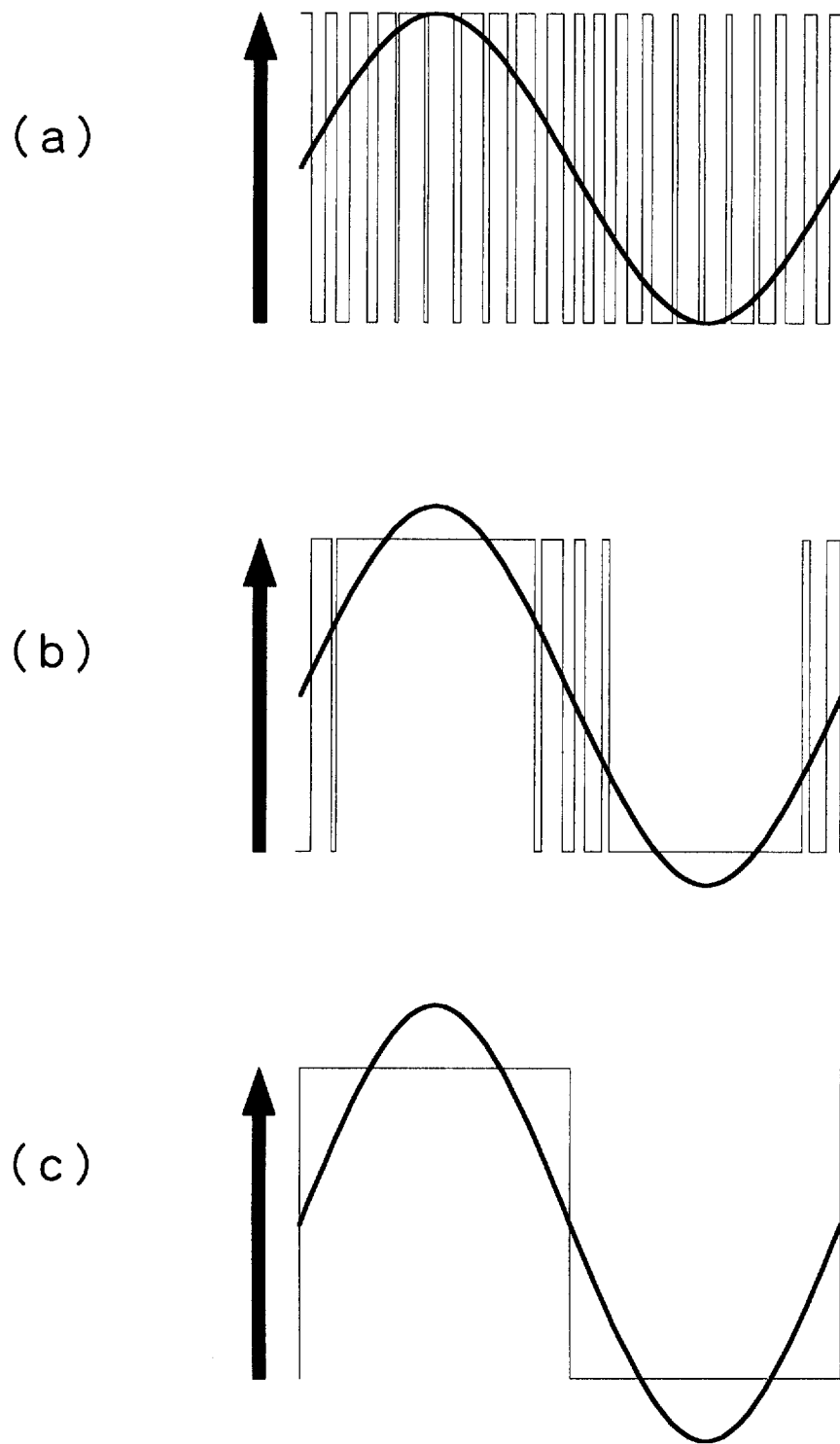
[図18]



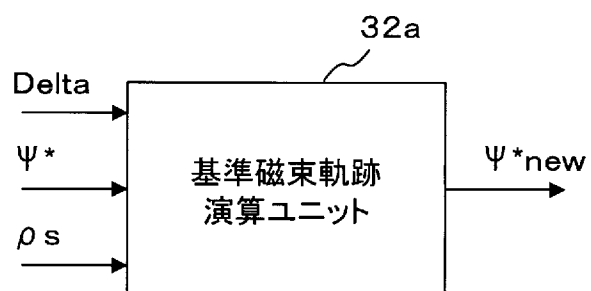
[図19]

| $H_\psi$ | $H_{Te}$ | S(1)  | S(2)  | S(3)  | S(4)  | S(5)  | S(6)  |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1        | 1        | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ | $V_5$ | $V_6$ | $V_1$ |
|          | 0        | $V_0$ | $V_7$ | $V_0$ | $V_7$ | $V_0$ | $V_7$ |
|          | -1       | $V_6$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ | $V_5$ |
| -1       | 1        | $V_3$ | $V_4$ | $V_5$ | $V_6$ | $V_1$ | $V_2$ |
|          | 0        | $V_7$ | $V_0$ | $V_7$ | $V_0$ | $V_7$ | $V_0$ |
|          | -1       | $V_5$ | $V_6$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ |

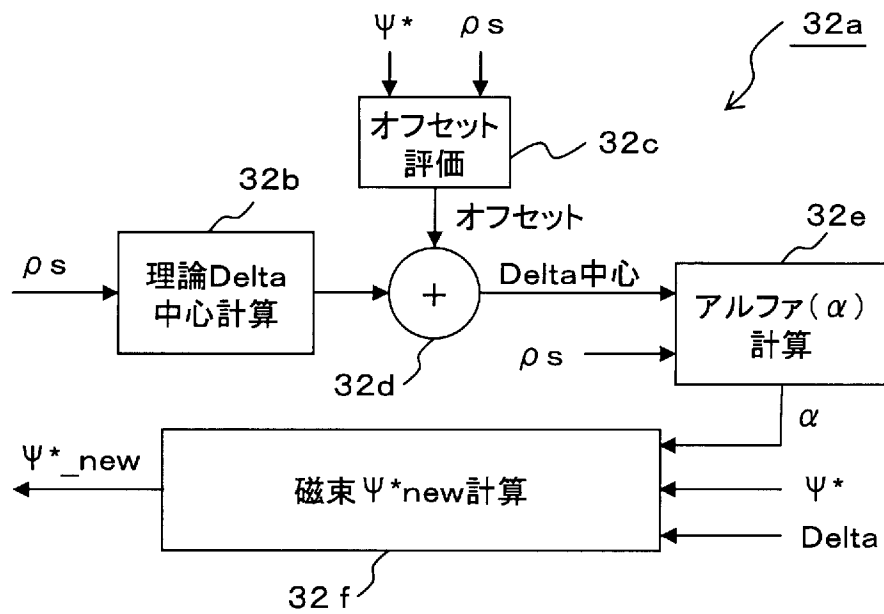
[図20]



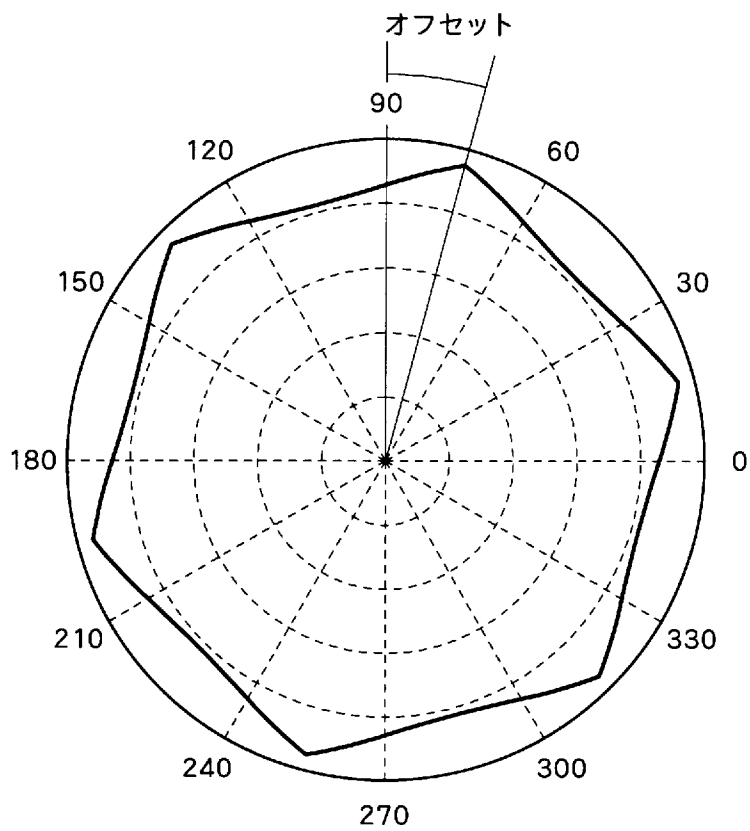
[図21]



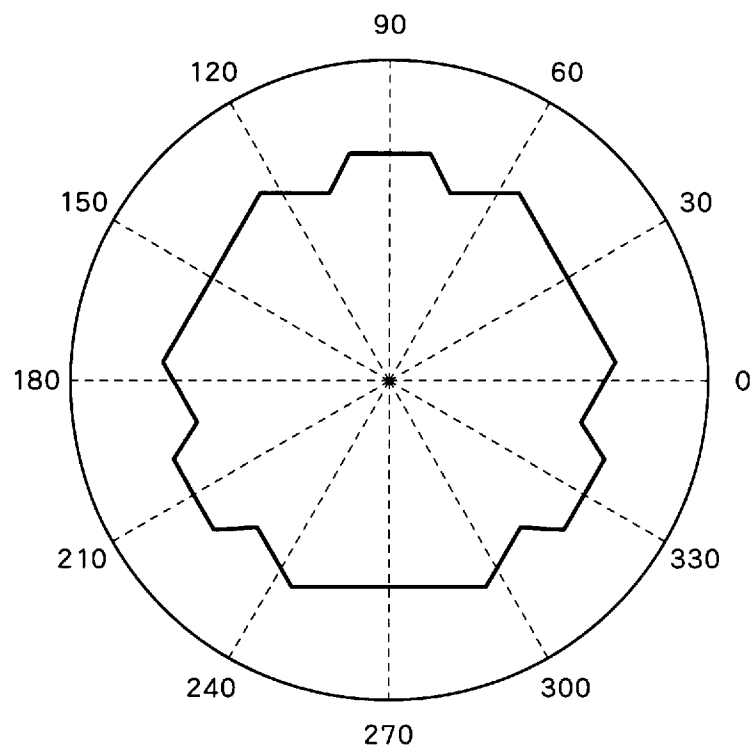
[図22]



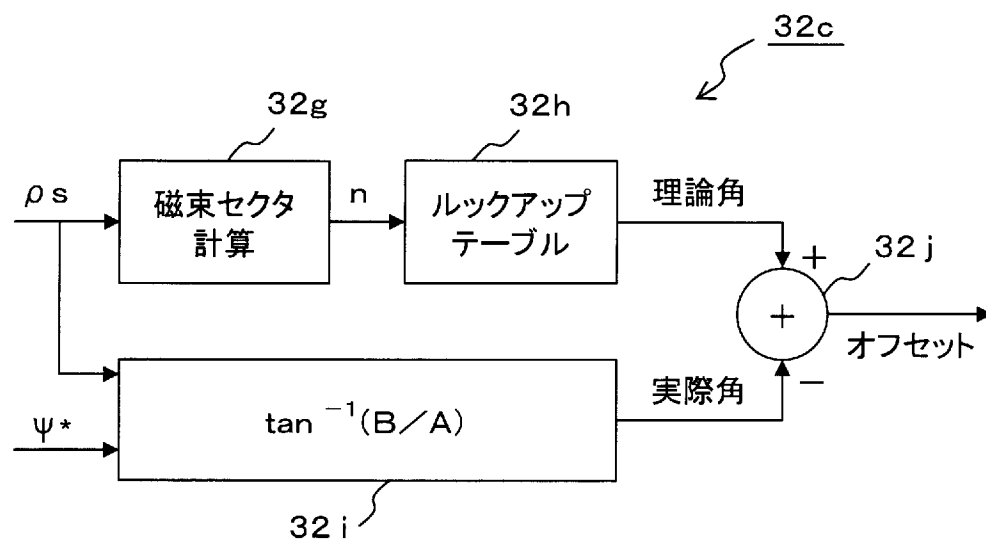
[図23]



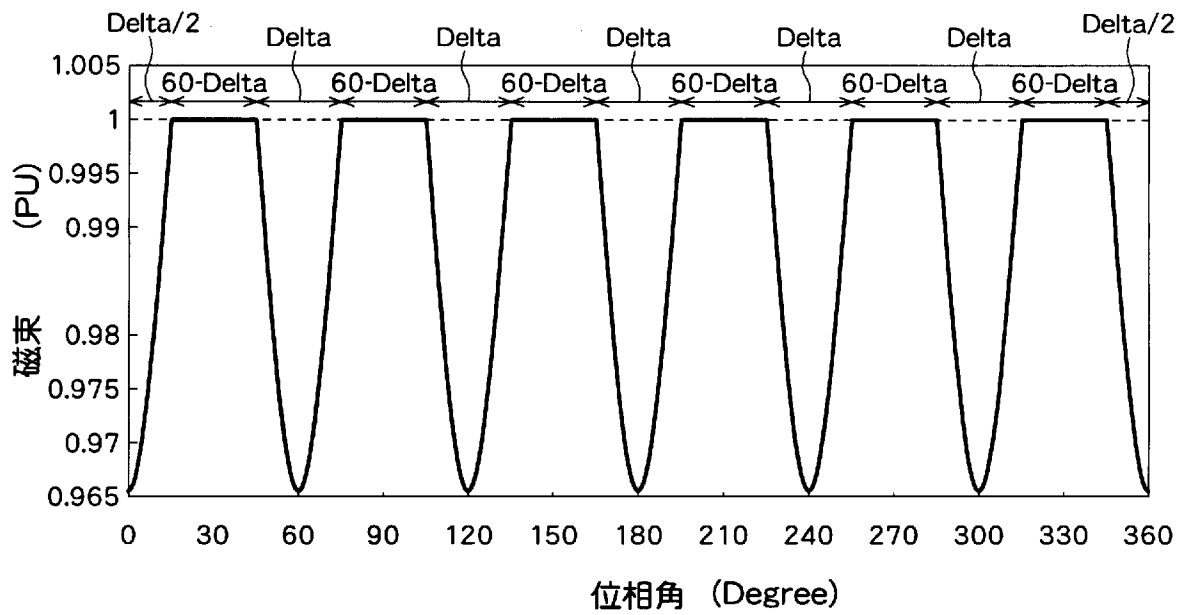
[図24]



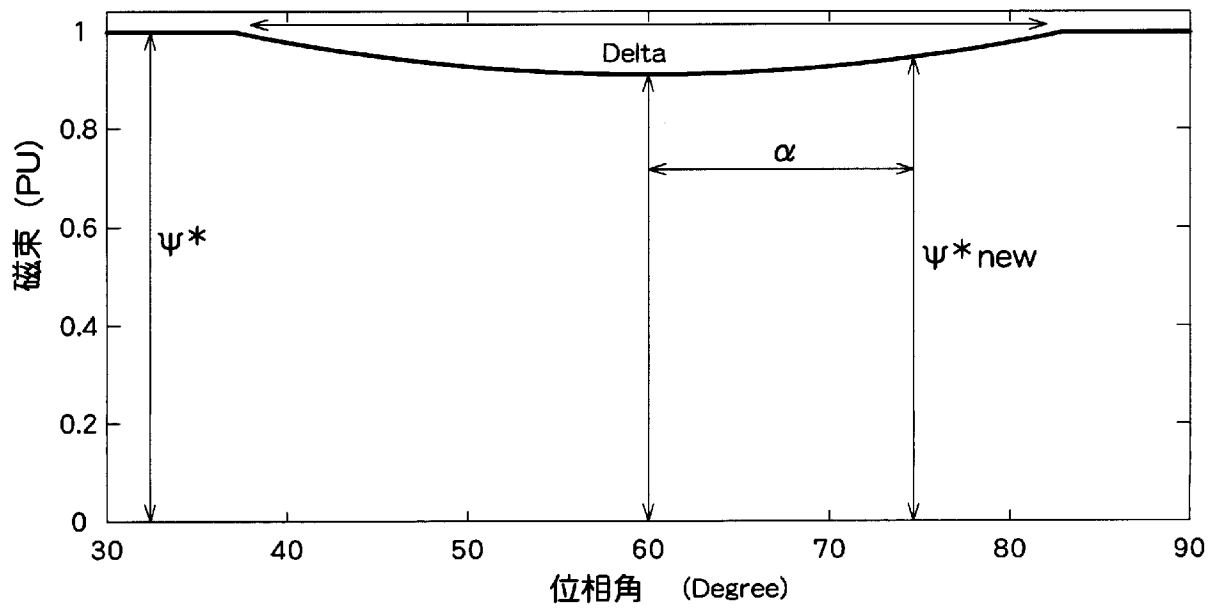
[図25]



[図26]

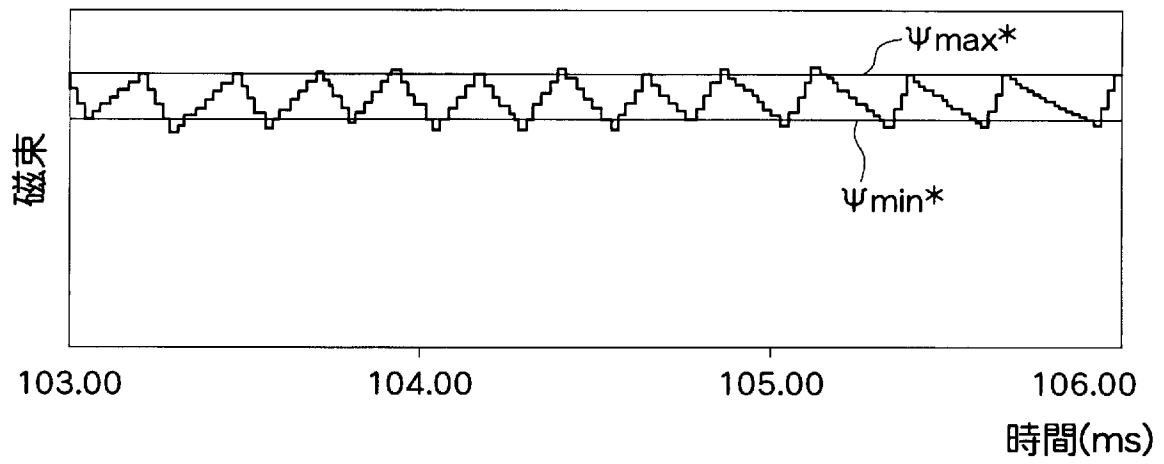


[図27]

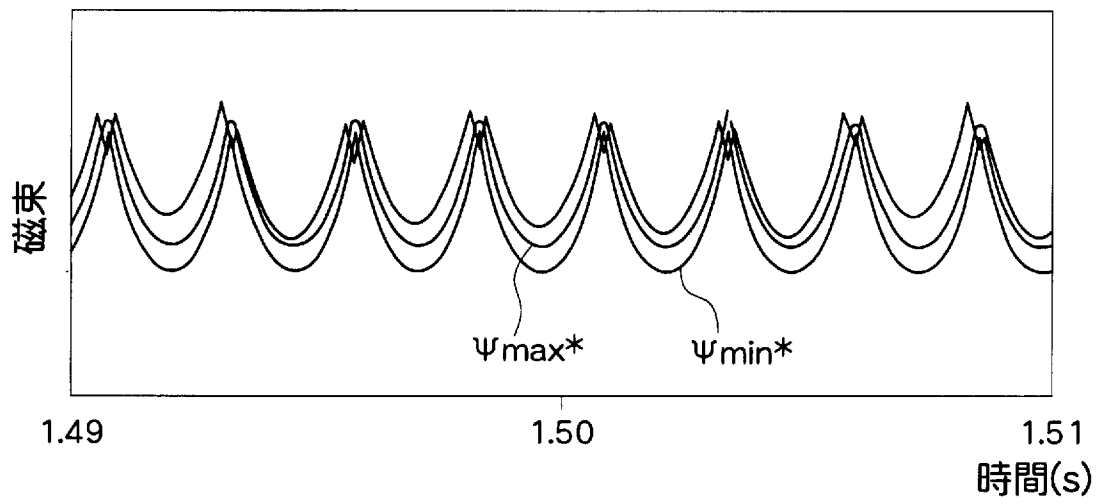


[図28]

(a)



(b)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/070993

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P21/00 (2006.01) i, H02P27/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P21/00, H02P27/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2011 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2011 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2011 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                              | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2003-210000 A (Isao TAKAHASHI),<br>25 July 2003 (25.07.2003),<br>entire text<br>(Family: none)               | 1-7                   |
| A         | JP 8-33399 A (Sawafuji Electric Co., Ltd.),<br>02 February 1996 (02.02.1996),<br>entire text<br>(Family: none)  | 1-7                   |
| A         | JP 2009-268268 A (Sanyo Electric Co., Ltd.),<br>12 November 2009 (12.11.2009),<br>entire text<br>(Family: none) | 1-7                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
01 February, 2011 (01.02.11)

Date of mailing of the international search report  
08 February, 2011 (08.02.11)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））  
Int.Cl. H02P21/00(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P21/00, H02P27/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 1 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 1 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 1 年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

WPI

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                 | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|---------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 2003-210000 A（高橋勲）2003.07.25, 全文（ファミリーなし）      | 1 - 7          |
| A               | JP 8-33399 A（澤藤電機株式会社）1996.02.02, 全文（ファミリーなし）     | 1 - 7          |
| A               | JP 2009-268268 A（三洋電機株式会社）2009.11.12, 全文（ファミリーなし） | 1 - 7          |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 2 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 2 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

尾家 英樹

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8

3 V

4 4 1 4