

学位論文題名

PAM方式極数切換誘導電動機の解析法に関する研究

学位論文内容の要旨

化石燃料の大量消費に伴う地球の温暖化現象に見られるように、地球環境の保全が世界的な問題になっている。地球環境の保全のためには、クリーンな新エネルギーの開発とともに、各方面における一層のエネルギー効率の向上をはからなければならない。産業界においても、消費電力の約6割をしめる風水力機械(ポンプ、ブロワなど)の省エネルギー駆動が問題となっている。

この問題の解決法としては、電動機の変速駆動が最も効果があり、連続的な速度制御が必要な場合はインバータによる誘導電動機の一次周波数制御やサイリスタモータなどが使用されている。一方、連続的な速度制御を必要としない場合や運転パターンによっては段階的な速度制御で十分な場合は、極数切換誘導電動機で十分であり、PAM(Pole Amplitude Modulation:磁極振幅変調)方式極数切換誘導電動機の風水力機械の駆動への適用が注目されて来ている。

PAM方式極数切換誘導電動機は、単一巻線によって1:2以外の極数比が得られ、二重巻線方式と比べると電動機の寸法を小さく設計できる。また、Y、 Δ のいずれの結線も選べるので、負荷の特性を考慮した設計が容易である。しかも、インバータ駆動方式に比べて数分の一の価格で、システムの値段が非常に安価である等という特徴を持っている。

しかし、PAM方式極数切換誘導電動機は起磁力高調波の影響が大きく、高調波トルクを発生しやすい、また、磁気騒音も大きいなどの問題点がある。現在、数千kWのPAM方式極数切換誘導電動機が製作されているが、理論的な検討はなされておらず、これらの問題点を解決するためには、どのように設計すべきかという設計上の問題が依然残されており、現在は経験に頼っている状態である。また、PAM方式極数切換誘導電動機の特性格算定法も明らかになっていない。

PAM方式極数切換の原理は、例えば8極の起磁力を磁極振幅変調すると、起磁力分布には奇数次の高調波起磁力が含まれるようになり、第3次高調波を残して第5次高調波を消すと6極の誘導電動機として動作し、逆に、第5次高調波を残し第3次高調波を消すと10極の誘導電動機として動作するものである。PAM方式極数切換誘導電動機は、磁極振幅変調のとき消去されずに残された高調波起磁力の影響が無視できず、高調波トルクや磁気騒音の発生原因となる。このようにPAM方式極数切換誘導電動機の解析法は、一般的な三相誘導電動機では無視されている空間高調波を取り扱わなければならないという難しさがある。

本論文は、PAM方式極数切換誘導電動機の解析法について述べている。PAM方式極数切換誘導電動機の変調方法は、一般的にいえば、一相の直列コイル群を二分割し一方の極性を反転する方法が用いられる。6の倍数極を含まない極数切換え(例えば8極から10極への切換え)の場合は、各相の変調波の変調端とコイル端が一致するので切換方法は単純である。しかし、6の倍数極を含む極数切換え(例えば8極から6極への極数切換え)の場合は、b相とc相の変調端とコイル端が一致せず、複雑な変調方法となる。すなわち、一相の直列コイルを巻数が1/3と2/3のコイルに分割し、その各々を異なる変調波で変調する方法

が用いられる。

本論文では、8極から6極へ切替える場合を例にPAM方式極数切替誘導電動機のインダクタンス行列の計算法を明らかにした。すなわち、PAM方式によって8極から6極へ切替える誘導電動機の固定子巻線は、一相あたり16個のコイルが直列に接続され、三相では48個のコイルが存在する。このコイル間の接続を一旦切り離し、固定子には48個の独立したコイル、回転子は回転子スロット数に等しい相数のコイルが存在するときのインダクタンス行列を求め、接続行列による変換によって8極から6極へ切替えた場合のPAM方式極数切替誘導電動機のインダクタンス行列を求める方法を提案し、設計上重要な Connection factor、分布係数、短節係数および巻線係数を求めた。

その結果、PAM方式によって8極から6極へ切替えた場合の誘導電動機は、固定子巻線の巻線軸が非対称な誘導電動機として解析できることが明らかとなった。また、PAM方式によって8極から6極へ切替えた場合、第3次高調波起磁力による逆相分磁界によって回転し、電動機領域に第13次高調波非同期トルク、制動機領域に第11次高調波非同期トルクが顕著に表われることが明らかとなった。さらに、巻線係数の検討から、第11次および第13次高調波非同期トルクを防止するには、機械角で $8/24$ の長節巻を施せばよいことが明らかとなった。

ここでは、8極から6極へ切替える場合を例にインダクタンス行列の計算法を述べているが、このインダクタンス行列の計算法は他の極数切替える場合（例えば6極から8極切替え）にも適用できる一般的な方法である。

本論文では第2に、PAM方式によって8極から6極へ切替えた場合の誘導電動機のトルクの計算法を明らかにした。すなわち、PAM方式によって8極から6極へ切替えた場合の誘導電動機のインダクタンス行列を対称座標軸変換し、対称軸上の電圧方程式を導き、トルクの一般式を求めた。トルクの一般式から高調波非同期トルクを計算し、実験値と比較したところ良く一致し、本解析法の妥当性が明らかとなった。また、回転同期および始動同期トルクの一般式から、始動時および回転同期トルクが大きくなる固定子スロット数と回転子スロット数の組み合わせを検討することが可能であり、同期クローリングなど設計上避けなければならないスロット数の組み合わせを検討することを可能とした。

本論文では第3に、PAM方式によって8極から10極へ切替えた場合の誘導電動機の等価回路による特性算定法を提案している。PAM方式によって8極から10極へ切替える場合は、PAM方式によって8極から6極へ切替える場合の特殊な例であり、第1次、第7次、第13次・・・高調波起磁力〔 $(6h+1)$ 次高調波起磁力、 $h \geq 0$ 〕は正相分磁界、第5次、第11次・・・高調波起磁力〔 $(6h+5)$ 次高調波起磁力〕は逆相分磁界となる。このような回転磁界を持つ誘導電動機の等価回路は、各高調波に対応した等価回路を電氣的に直列に、機械的には共通のシャフトに接続されたモデルで表わすことができることおよび等価回路定数の算定法を明らかにした。さらに、一般的な誘導電動機的设计では、設計寸法から漏れリアクタンス・巻線抵抗・励磁リアクタンス等を算定し、等価回路法や円線図法によって特性を算定することを考慮し、一般的な誘導電動機である8極のT形等価回路定数からPAM方式によって10極へ切替えた場合の等価回路定数を算定する計算法を提案している。等価回路に基づき出力特性および速度トルク特性を算定した結果は実験値と良く一致し、本論文で提案している等価回路によって、精度の高い特性算定が可能となった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 土 谷 武 士
副 査 教 授 大 西 利 只
副 査 教 授 長 谷 川 淳

学 位 論 文 題 名

PAM方式極数切換誘導電動機の解析法に関する研究

風水力機器の省エネルギー駆動法としては速度を制御する方法が最も効果がある。連続的な制御を必要としない場合や運転パターンによっては段階的な速度制御で十分な場合は、極数切換誘導電動機で十分であり、PAM (Pole Amplitude Modulation: 磁極振幅変調) 方式極数切換誘導電動機が注目されている。

PAM方式極数切換誘導電動機は、単一卷線で1:2以外の極数比が得られるが、磁極振幅変調したときに消去されずに残された起磁力高調波の影響が大きく、高調波トルクや磁気騒音を発生し易いという問題点がある。この影響をどのように避けるかが設計上の大きな課題となっており、また、設計上重要な特性算定法も明らかになっていない。これは、一般的な誘導電動機では無視されている空間高調波を取り扱わなければならないという困難さがあるためである。本論文は、このような状況にあるPAM方式極数切換誘導電動機の解析法について理論的に研究したものである。

本論文では、8極から6極へ切換える場合を例にPAM方式極数切換誘導電動機のインダクタンス行列の計算法を明らかにしている。すなわち、PAM方式によって8極から6極へ切換える誘導電動機の固定子巻線は、一相あたり16個のコイルが直列に接続され、三相では48個のコイルが存在する。このコイル間の接続を一旦切り離し、固定子には48個の独立したコイル、回転子は回転子スロット数に等しい相数のコイルが存在するときのインダクタンス行列を求め、接続行列による変換によって8極から6極へ切換えた場合のインダクタンス行列を求める方法を提案し、設計上、高調波トルクを防止する上で重要な Connection factor、分布係数、短節係数および巻線係数を求めている。

本論文では第2に、PAM方式によって8極から6極へ切換えた場合のPAM方式極数切換誘導電動機のトルクの計算法、および、回転時同期トルクを発生する高調波次数の関係を明らかにしている。したがって、クローリングを防止するために設計上避けなければならないスロット数の組み合わせの検討を可能としている。

本論文では第3に、PAM方式によって8極から10極へ切換えた場合の誘導電動機の等価回路による特性算定法を提案している。等価回路においては、二次回路定数を一次側に換算しなければならないが、この二次側諸量の一次側への換算法および励磁リアクタンスの計算法を明らかにしている。さらに、一般的な誘導電動機である8極のときのT形等価回路定数からPAM方式によって10極へ切換えた場合の等価回路定数を算定する実用的な計算法を提案している。これにより、10極へ切換えた場合の速度・トルク特性および出力特性を高い精度で算定することを可能としている。

これを要するに、著者は、PAM方式極数切換誘導電動機の解析法および特性算定法について新知見を得たものであり、PAM方式極数切換誘導電動機の設計法の確立、および、電気機器工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。