

うず電流を考慮したスタータプランジャの センサレス位置検出法

大音 慶明* (静岡大学), 中岡 卓郎, 久保 祐輝 ((株)デンソー)

The Sensorless Position Estimation Method of Starter Plunger considering Eddy Current
Yoshiaki Ohto (Shizuoka University), Takuro Nakaoka, Yuki Kubo (DENSO CORPORATION)

1. 背景

近年、車の燃費規制が厳しくなる中で、アイドルストップ車は、不要時にエンジンを停止することで省燃費化でき、CO2 排出量も低く抑えられることから市場ニーズが高まっている。

アイドルストップ車は、再始動要求時に、停止状態にあるエンジンを即座に始動させることが求められる。エンジンを即座に始動する方法として、スタータのピニオンギアをリングギアにあらかじめセットしておくプリセット制御が報告されている^[1]。本論文では、プリセット制御に必要なプランジャのセンサレス位置検出法について述べる。

2-1. スタータの構成とプリセット制御法の課題

スタータの構成を図 1 に示す。このスタータは、ソレノイドコイルに流れる電流(以下、ソレノイド電流という)を PWM 制御している。ソレノイドの電流制御回路構成は、一般的な降圧チョップである。

スタータの通常の動作について説明する。まず、モータでピニオンギアを回転させる。次に、ソレノイドコイルに通電をすると、プランジャが吸引される。プランジャはレバーを介してピニオンギアと連結しているため、ピニオンギアがリングギアの方へと押し出される。この結果、ピニオンギアとリングギアが噛合って、リングギアが回転し、エンジンを始動できる。また、エンジン始動後はソレノイドコイルへの通電を停止するので、ソレノイド内部にあるリターンズpringにより、プランジャとピニオンギアは吸引前の初期位置に戻される(図 2)。

スタータのプリセット時の動作について説明する。プリセット制御では、上記制御においてピニオンギアがリングギアに噛合った時点で、モータの回転を停止させ、ソレノイドコイルへの通電も停止する。ソレノイドコイルの通電を停止しても、ピニオンギアがリングギアに噛合った後にリングギアが回転しなければ、ヘリカルスプラインの効果でプランジャとピニオンギアは初期位置へ戻らない構造になっている。しかし、振動などの外乱があるとプリセットしたピニオンギアとリングギアの噛合いがはずれる可能性がある。そこで、エンジンの再始動時までプリセットした

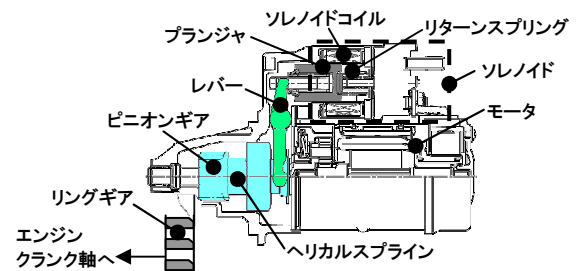


図 1 スタータの構成

Fig.1 Construction of Starter

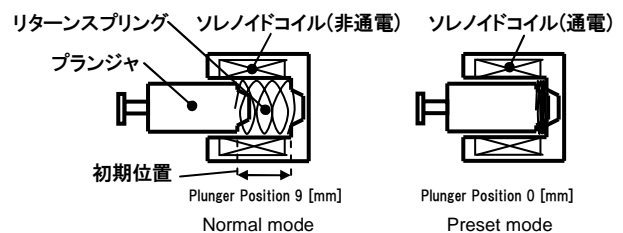


図 2 ソレノイドの構造

Fig.2 Construction of Solenoid

ピニオンギアとリングギアの噛合いが維持されていること(以下、プリセット状態という)を確認する方法が必要となる。

2-2. プランジャ位置とプリセット制御の関係

プリセット状態を確認するためには、ピニオンギアと連結されたソレノイドプランジャの位置を検出すればよい。

ソレノイドプランジャの位置を推定する方法として、一般的にソレノイドコイルのインダクタンス値を検出する方法がある。その原理を以下に示す。ここで、磁路長を l 、透磁率を μ 、磁路の断面積を S 、磁気抵抗を R_m 、インダクタンスを L 、巻数を N とおく。プランジャの位置が変化すると、ギャップ部の磁路長が変化し磁気抵抗が変化する(式(1))。また、磁気抵抗が変化するとソレノイドコイルのインダクタンスが変化する(式(2))。

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (1)$$

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad (2)$$

したがって、式(1)、式(2)から、ソレノイドコイルへの PWM 通電の電流応答からそのインダクタンス変化を検出

することで、プランジャの位置を推定することができ、プリセット状態であることを確認できる。

3. ソレノイドコイルの周波数特性

ソレノイドコイルのインダクタンス-周波数特性を図3に示す。この特性からわかることは、300Hz 以上では、プランジャの位置が変化してもインダクタンスの差が現れないことである。このため、一般的に使われている数 kHz~数十 kHz オーダの PWM 通電による電流応答では、プランジ位置の推定は不可能である。

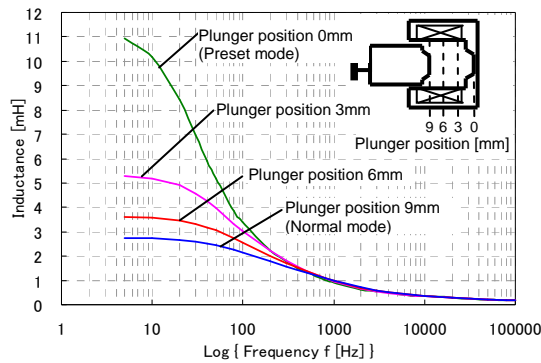


図3 ソレノイドコイルのインダクタンス-周波数特性
Fig.3 Solenoid Coil Inductance-Frequency characteristic

このソレノイドコイルのインダクタンス-周波数特性を検証するために磁場解析を行った。解析条件は、低周波数(10Hz)、高周波数(1kHz)にて、プランジャがプリセット状態の場合と、プランジャが初期位置にある通常状態の場合について解析し、磁束密度分布を比較した。解析の結果、コア構造が塊状鉄心であるため、1kHz ではうず電流の影響で磁束が鉄心内部に入り込めず、インダクタンスが小さくなってしまっていることがわかる。

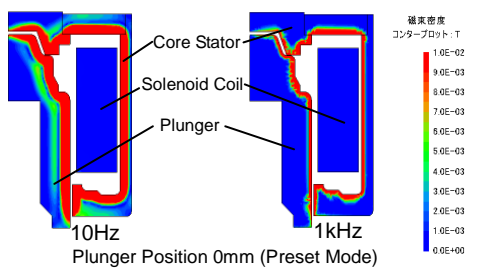


図4 プリセット状態における磁束密度分布
Fig.4 Flux density distribution at Preset mode

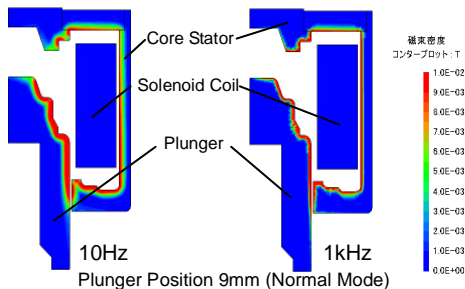


図5 通常状態における磁束密度分布
Fig.5 Flux density distribution at Normal mode

4. プランジャ位置検出法

以上より、うず電流の影響を回避してプランジャ位置によるインダクタンス変化を検出するためには、ソレノイドコイルに低い周波数で通電を行う必要がある。ここでは、プリセット制御後にプランジャ位置を検出するため 100Hz の低周波・低電流通電を行うこととした(図6)。周波数を下げたことで、プランジャ位置に対するインダクタンスの差が現れ、電流応答からプランジャの位置推定が可能となっている。

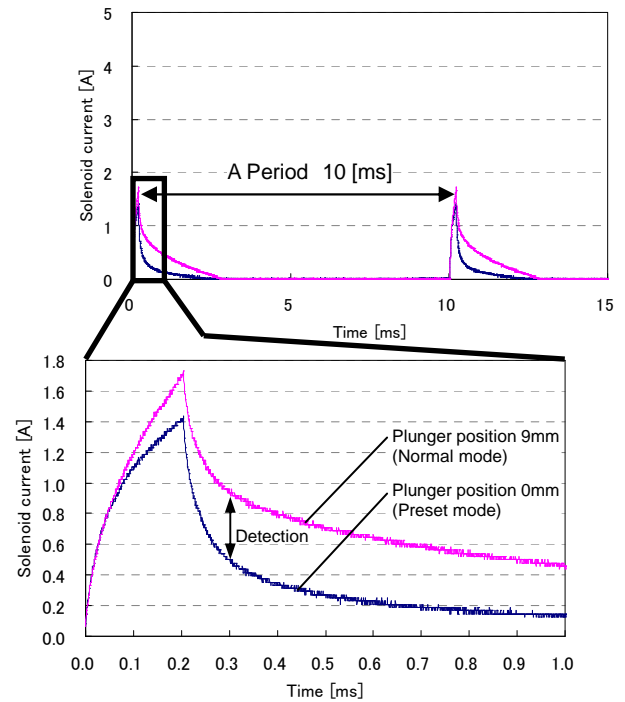


図6 通常状態とプリセット状態におけるソレノイド電流
Fig.6 Solenoid current at normal mode and preset mode

5. まとめ

塊状鉄心を使用したソレノイドコイルのインダクタンス-周波数特性を明確にした。高周波領域では、うず電流の影響でインダクタンスが急激に低下してプランジャ位置によるインダクタンスの差が現れない。このうず電流の影響を回避するため、ソレノイドコイルに低周波数通電を行い、プランジャの位置をセンサレスで検出する方法を開発した。

文献

- (1)能谷英弥・山口芳範・樋口裕昭・川津信介・山村雅紀、
「Change of Mind に対応したアイドルストップ始動システムの開発」、学術講演会前刷集(秋季)、No.94-11 p21~、(2011)