

低次高調波除去形同期式 PWM インバータの刻み数と高調波含有率に関する検討

Study on Influence of Relative Harmonic Content of Harmonic Component Elimination Method Synchronous PWM Inverter when Omitted Pulse

EE08 川崎 元椰
指導教員 渡邊 聡

1. まえがき

三相インバータは鉄道車両など様々な機器に用いられているが、その出力波形には基本波の他に高調波が含まれる。この高調波は三相誘導電動機（以降、誘導機）の場合、トルクの脈動や不連続な回転、損失の増加などの影響を及ぼす。しかし誘導機は、構造が簡単でかつ寿命が長いため多く用いられており、現在の電車の駆動システムが例として挙げられる。電車の三相インバータは、出力電圧が低い低速域では非同期 PWM インバータが用いられ、中高速域では高い電圧が必要な為、1 パルスモードで駆動されるのが一般的であるが、この場合三相インバータの出力波形には多くの低次高調波が含まれるため、誘導機では多くの損失が生じる。そこで、中高速域ではパルスモードを変更し、1 パルスモードに刻み（転流）を入れることで高調波除去を可能とする選択高調波消去方式^[1]が考えられる。本研究では、除去される低次高調波数に比例するこのパルスモードの刻み数を増やしていったとき、負荷を抵抗及び誘導機としたときの、刻み数に応じた三相インバータ出力の高調波含有率、歪率の理論値算出及び実測を行い、評価、検討を行う。

2. 高調波解析の理論値計算及び実測結果

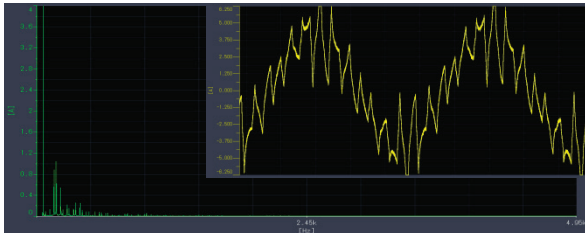


図1 誘導機負荷時における高調波含有率の実測値及び相電流波形(刻み数 2)

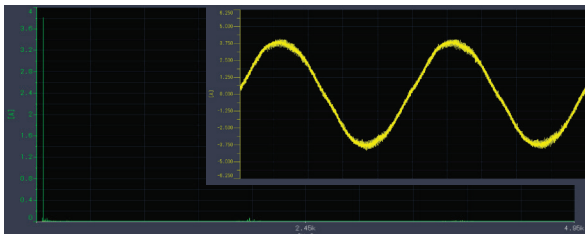


図2 誘導機負荷時における高調波含有率の実測値及び相電流波形(刻み数 62)

刻み数に応じたインバータ出力に含まれる高調波の割合は、 $n=6m \pm 1$ (m は 0 を含む自然数, n は正の整数), k =転流角度数及び刻み数とすると(1)式で表せる^[2]。これより転流角度 α が算出できる。

$$E(\theta) = \frac{2Ed}{\pi} \left\{ \sum_{n=1}^{k+1} \left(\frac{1}{n} (1 + \sum_{k=1}^n (2(-1)^k \cos n\alpha_k)) \sin n\theta \right) \right\} \quad (1)$$

供試の低次高調波除去型同期式 PWM インバータを用い、10Hz を基本波として実測を行った結果、抵抗負荷時は刻み数を増すと理論通り低次高調波が除去されるが、除去した高調波次数付近とその整数倍に残留高調波が現れる傾向が確認できた。一方誘導機負荷時は、高調波含有率及び相電流波形は図1(刻み数 7)及び図2(刻み数 62)となった。誘導機負荷の場合、低次高調波が除去され、さらに残留高調波の高次高調波は減衰する。よって相電流波形は、刻み数 62 では歪みの少ない正弦波に近いものとなった。前述の理由より歪率は刻み数を増やすに従い、抵抗負荷時は高い状態からほぼ変化しないが、誘導負荷時は低くなり正弦波に近づく(図1及び図2参照)。

3. 転流角度間隔が狭い刻みを省いた際の影響

刻み数が多くなるにつれ、転流角度間隔は小さくなるためスイッチング損失に繋がる。そこで誘導負荷時、刻み数 28 において転流角度間隔が狭い刻みを 2 ずつ省いていったところ、省き数は 6 程度省けることが分かった。

4. 結論

抵抗負荷時は、刻み数を増すと低次高調波が除去され、また残留高調波は容量の小さいフィルタ回路を用いることで改善できる。一方、誘導機負荷時は残留する高調波が低次のみとなるため、刻み数が多くなるにつれ高調波は消去され正弦波に近づく。歪率 5% 以下とするならば、刻み数 30 前後が目安となることが分かった。また誘導機負荷時、刻み数 28 において転流角度間隔が狭い刻みを省くことが可能である。

5. 今後の発展

誘導機負荷時については本研究で用いている低次高調波除去型同期式 PWM インバータで歪率を 5% 以下にすることができ、またそのときの刻み数や省き数について実証できた。今後は実用化に向け出力周波数に応じた刻み数及び省き数の検討を行っていく。

文献

- [1]宮部実・近藤稔,“低次高調波消去インバータ波形による電車用誘導電動機の損失低減”,電気学会研究会資料,RM-10-064,SPC-10-077,MD-10-099,pp.45-50 (2010)
- [2]H.S.Patel, R.G.Hoft,“Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: Part I-Harmonic Elimination”, IEETrans.Vol.IA-9, No.3, pp.310-317 (1973)