

## 4相 Stepping Motor의 공진억제에 관한연구

배진호\* 정도영\*\* 원규식\*\*\* 이상호\*\*\* 김중기\* 정경채\* 서진우\*\*\*  
\* 영남대학교 \*\* 삼척산업대학교 \*\*\* 대구기능대학 \*\*\*\* 포스콘

### A Study on Eliminating Resonance in 4-phase Stepping Motor

J-H Bae\*, D-Y Chung\*\*, K-S Won\*\*\*, S-H Lee\*\*, J-G Kim\*, K-C Chung\*, J-W Seo\*\*\*  
\* Yeungnam Univ, \*\* Sam-Chuk Nat'l Univ, \*\*\* Daegu Skill Col, \*\*\*\* POSCON

#### abstract

In this paper, We have designed the new Two-Double 1-2 phase exciting method. And We have developed the chopper constant current drive circuit in order to apply Two-Double 1-2 phase exciting method to 4-phase Stepping Motor.

#### 1. 序 論

스텝핑 전동기는 개루프 제어로도 정확한 위치제어가 가능하므로 제어회로를 간단히 할수있고 구조가 간단하여 저 가격이면서도 신뢰도가 높을 뿐만 아니라, 단위 제적당 고출력을 발생하고 있다. 더욱이 디지털 입력신호에 의하여 동작하는 스텝핑 전동기는 디지털 IC의 특성과도 잘 부합되기 때문에 많은 연구가 선진각국에서 활발히 진행되고 있으며, 응용분야로는 PCB조립공정, 봉제산업 및 자동검색작업, 자동반송장치, 그리고 FA기기, OA기기 및 NC머신 등에 다양하게 사용되고 있다.<sup>1)~5)</sup>

그러나 스텝핑 전동기는 어느 속도영역에서 갑자기 진동이 커지거나 출력토크가 떨어질때가 있으며, 최악의 경우 역전이나 미스스텝이 발생하는데 이러한 현상을 공진이라 한다.

공진현상(불안정한 현상)은 스텝핑 전동기의 개루프제어에 있어서 피할 수 없는 것으로 인식되어 왔기 때문에 일반적으로 운전영역은 공진영역을 제외한 속도범위로 한정되어 온 실정이다.

따라서 공진현상을 피하고 운전영역을 확장시키기 위하여 사용속도, 부하의 조정, 댐핑(Damping) 및 인가전압의 변동 등에 관한 연구가 진행되어 왔으나, 대부분의 방법이 부하 및 사용조건에 따라 제한되었으며, 결정적인 방법은 제시되지 않았다.

여기에 대응하기위해, 최근에는 선진각국에서 마이크로 프로세서를 비롯한 반도체 소자들의 대량생산으로 가격이 점차 저렴해지는데 힘입어 구동방식 및 여자방식에 의한 공진억제에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1)~2)</sup>

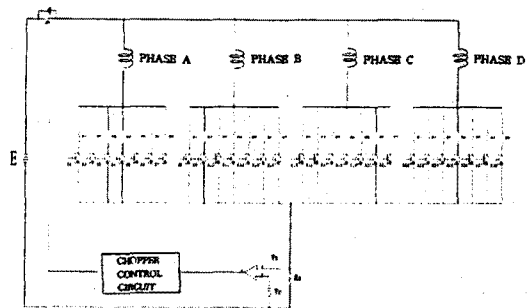
스텝핑 전동기의 구동방식에는 유니폴라 구동방식과 바이폴라 구동방식으로 분류되며, 바이폴라 구동방식이 유니폴라 구동방식에 비해 다소 회로가 복잡해지는 단점은 있으나, 코일의 시간적 이용률을 증가 시키므로서 효율이 높아지고, 저속영역에서 주력의 개선이 용이하다. 그리고 회로설계에 따라서 等價相數를 증가시킬수 있는 자유도가 높으므로 공진억제에 큰 효과도 있다.

그리고 勵磁방식에는 1相, 2相, 1-2相 및 Double 1-2相 勵磁방식이 있으며, 회전스텝각은 1相勵磁과 2相勵磁을 기준으로 했을때, 1-2相勵磁방식은 1/2스텝, Double 1-2相勵磁은 1/4스텝각으로 회전한다.

勵磁방식에 대한 공진 억제를 살펴보면, 1相勵磁 및 2相勵磁방식은 공진억제에 거의 효과가 없으며, 1-2相勵磁방식은 미소하게 그리고 Double 1-2相勵磁방식은 어느 정도 공진 발생이 억제되는 것으로 알려져있다.<sup>1)~2)</sup>

그러나 스텝핑 전동기를 1/8 스텝각으로 회전시킴으로써, 공진억제에 큰 효과가 기대되는 Two-Double 1-2상 勵磁방식에 관한 연구가 국내외적으로 전무한 실정이다. 본 논문에서는 4相 스텝핑전동기에 적용가능한 새로운 Two-Double 1-2相勵磁 시퀀스에 관한 이론과 초퍼 정전류 구동회로를 설계하고자 한다.

#### 2. Two-Double 1-2相勵磁 초퍼 정전류 구동회로



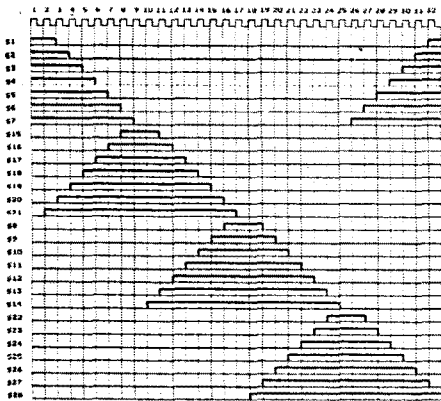
【그림1】 Two-Double 1-2相勵磁 초퍼 정전류 구동회로

그림1은 Two-Double 1-2相勵磁 초퍼 정전류 구동 회로를 보여준다.

그림1에서 저항 R1, R2, R3, R4, R5, R6, 그리고 R7은 각 phase에 흐르는 전류의 加減을 통하여 분해능을 2相勵磁에 비해 1/8로 감소함으로써 진동의 크기가 작아지고, 나아가서는 공진현상의 발생이 억제됨으로써 전동기의 정특성 및 동특성이 개선될 것으로 기대된다.

스위칭 순서는 S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>, S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>16</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>7</sub>S<sub>15</sub>S<sub>16</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>와 S<sub>15</sub>S<sub>16</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>, S<sub>15</sub>S<sub>16</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>16</sub>S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>17</sub>S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>18</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>9</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>21</sub>S<sub>8</sub>S<sub>9</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub> 및 S<sub>8</sub>S<sub>9</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>, S<sub>8</sub>S<sub>9</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>9</sub>S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>10</sub>S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>11</sub>S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>12</sub>S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>13</sub>S<sub>14</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>14</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>와 S<sub>7</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>21</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>19</sub>S<sub>20</sub>S<sub>21</sub>S<sub>22</sub>S<sub>23</sub>S<sub>24</sub>S<sub>25</sub>S<sub>26</sub>S<sub>27</sub>S<sub>28</sub>, S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>S<sub>4</sub>S<sub>5</sub>S<sub>6</sub>S<sub>7</sub>S<sub>18</sub>이 순차적으로 동시에 턴온(Turn on), 턴오프(Turn off)하는 32相勵磁 시퀀스와 일치하는 동작을 하게 된다.

### 3. Two-Double 1-2相勵磁 시퀀스



【그림2】 Two-Double 1-2相勵磁 시퀀스

그림2는 Two-Double 1-2相勵磁 시퀀스를 나타낸다.

그림1의 Two-Double 1-2相勵磁 초퍼 정전류 구동 회로에서 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R<sub>5</sub>=R<sub>6</sub>=R<sub>7</sub>=R이라 두고 구동모드를 설명하면 다음과 같다.

첫 번째 입력펄스에서는 A상이 I의 크기로서勵磁되고, 두 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 7I/8와 I/8의 크기로서勵磁되고,

세 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 6I/8와 2I/8의 크기로서勵磁되고,

네 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 5I/8와 3I/8의 크기로서勵磁되고,

다섯 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 4I/8와 4I/8의 크기로서勵磁되고,

여섯 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 3I/8와 5I/8의 크기로서勵磁되고,

일곱 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 2I/8와 6I/8의 크기로서勵磁되고,

여덟 번째 입력펄스에서는 A상과 C상이 각각 I/8와 7I/8의 크기로서勵磁되고,

아홉 번째 입력펄스에서는 C상이 I의 크기로서勵磁되고,

열 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 7I/8와 I/8의 크기로서勵磁되고,

열한 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 6I/8와 2I/8의 크기로서勵磁되고,

열두 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 5I/8와 3I/8의 크기로서勵磁되고,

열세 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 4I/8와 4I/8의 크기로서勵磁되고,

열네 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 3I/8와 5I/8의 크기로서勵磁되고,

열다섯 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 2I/8와 6I/8의 크기로서勵磁되고,

열여섯 번째 입력펄스에서는 C상과 A상이 각각 I/8와 7I/8의 크기로서勵磁되고,

열일곱 번째 입력펄스에서는 B상이 I의 크기로서勵磁되고,

열여덟 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 7I/8와 I/8의 크기로서勵磁되고,

열아홉 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 6I/8와 2I/8의 크기로서勵磁되고,

스물 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 5I/8와 3I/8의 크기로서勵磁되고,

스물한 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 4I/8와 4I/8의 크기로서勵磁되고,

스물두 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 3I/8와 5I/8의 크기로서勵磁되고,

스물세 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 2I/8와 6I/8의 크기로서勵磁되고,

스물네 번째 입력펄스에서는 B상과 D상이 각각 I/8와 7I/8의 크기로서勵磁되고,

스물다섯 번째 입력펄스에서는 D상이 I의 크기로서勵磁되고,

스물여섯 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 7I/8와 I/8의 크기로서勵磁되고,

스물일곱 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 6I/8와 2I/8의 크기로서勵磁되고,

스물여덟 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 5L/8 와 3L/8의 크기로서 勵磁되고,  
 스물아홉 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 4L/8 와 4L/8의 크기로서 勵磁되고,  
 서른 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 3L/8와 5 L/8의 크기로서 勵磁되고,  
 서른한 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 2L/8와 6L/8의 크기로서 勵磁되고,  
 서른두 번째 입력펄스에서는 D상과 B상이 각각 L/8와 7 L/8의 크기로서 勵磁된다.

즉, 앞서 언급한 바와 같이 相전류 加減에 따라서 勵磁 되는 구동방법이며, 이때의 TR 스위칭 순서는  
 $S_1S_2S_3S_4S_5S_6S_7 \Rightarrow S_1S_2S_3S_4S_5S_6S_7S_{21} \Rightarrow S_2S_3S_4S_5S_6S_7S_{20}S_{21} \Rightarrow S_3S_4S_5S_6S_7S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_4S_5S_6S_7S_{18}S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_5S_6S_7S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_6S_7S_{16}S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_7S_{15}S_{16}S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_{15}S_{16}S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21} \Rightarrow S_{16}S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21}S_{14} \Rightarrow S_{16}S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_{17}S_{18}S_{19}S_{20}S_{21}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_{18}S_{19}S_{20}S_{21}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_{19}S_{20}S_{21}S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_{20}S_{21}S_9S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_{21}S_8S_9S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_8S_9S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14} \Rightarrow S_8S_9S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14}S_{28} \Rightarrow S_9S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{10}S_{11}S_{12}S_{13}S_{14}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{11}S_{12}S_{13}S_{14}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{12}S_{13}S_{14}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{13}S_{14}S_{23}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{14}S_{22}S_{23}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_{22}S_{23}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_7S_{22}S_{23}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_5S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_4S_5S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_3S_4S_5S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_2S_3S_4S_5S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28} \Rightarrow S_1S_2S_3S_4S_5S_6S_7S_{22}S_{24}S_{25}S_{26}S_{27}S_{28}$ 순으로 연속적으로 이동하여 구동하게 되는 것이다.

#### 4. 結 論

본 논문에서는 4相 스텝핑 전동기에 적용 가능한 새로운 Two-Double 1-2상여자 시퀀스에 관한 이론과 초퍼 정전류 구동회로를 제시하였다.

향후 제시된 Two-Double 1-2상여자 시퀀스와 초퍼 정전류 구동회로를 하드웨어적으로 구성하여 운전시, 스텝핑 전동기의 완벽한 공진역제 및 미세제어를 통하여 산업분야에 더욱 더 다양하게 응용될 것으로 기대된다.

#### 參 考 文 獻

1. Jin-Ho Bae, Do-Young Chung, Sang-Ho Lee, "A DOUBLE 1-2 PHASE EXCITING OF LINEAR STEPPING MOTOR", SMIC '93, 1993.
2. 소형모우터 기술전문위원회, "소형모우터 기술조사보고", 대한전기학회, 1992, pp. 71~102.
3. 배진호, 정도영, 이상호, 오홍석, "2상 PM형 리니어 스텝핑모터의 정추력 특성해석", 93년 하계 종합학술대회 논문집, pp. 84~86, 1993.
4. 배진호, 정도영, 이상호, 오홍석, "VR형 Linear Step Motor의 치형상에 따른 정추력특성에 관한 연구", 92년 추계 종합학술대회 논문집, pp. 124~126, 1992.

5. John S.Squire, "Electronic Step Motor Damping using bipolar chopper drive circuits", pro. Fourteenth Annual symposium incremental motion control systems and drives, pp. 233~243, 1985.
6. C.K. Taft, T.J.Harned, "Mid-frequency resonance in Stepping Motor", pro. Fourteenth Annual symposium incremental motion control systems and devices, pp. 255~263, 1985.