

영구자석 전기기기의 자동 설계를 위한 특성해석 소프트웨어 개발

이승호
동의대학교

Software development for Auto Design of permanence magnet electrical machine

Seung-Ho Lee
DongEui University

Abstract - 본 논문에서는 비주얼베이직을 이용하여 영구자석 전기기기의 제어를 자동으로 설계를 할 수 있는 소프트웨어를 개발하는데 필요한 이론을 제시하였다. 설계에 필요한 기본적인 기기의 용량과 정격전압, 회전속도 등의 값만 입력하여 전동기의 제어를 계산 할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

1. 서 론

영구자석 전기기기는 주로 회전전기기인 직류전동기나 발전기에 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 비주얼 베이직을 이용하여 영구자석 회전전기인 직류전동기의 특성해석과 직류전동기의 설계 프로그램을 개발하고자 한다. 전동기의 특성은 정특성과 동특성으로 나눌 수가 있으며, 정특성은 토크, 효율, 전류를 정상상태에 있어서의 값을 나타내고 있지만 동특성은 동작변화에 대한 값을 표시한 것이다. 직류전동기의 등가회로를 이용하여 정특성에 대해 고찰하고 이를 바탕으로 직류전동기를 설계할 수 있는 프로그램을 개발하는데 필요한 기초 자료로 활용할 수 있도록 하고자 한다.1-4)

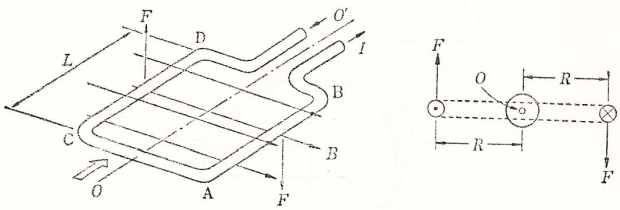
2. 직류전동기의 특성해석

2.1 직류전동기 정수

직류전동기의 회전력 발생은 프래밍의 왼손법칙에 의해서 자속 밀도를 $B[T]$, 전류 $I[A]$, 도체유효길이 $L[m]$, 힘을 $F[N]$ 라하면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$F = BIL[N] \tag{1}$$

그림 1(a)는 자계중에 있어서의 1개의 코일을 둔 경우로 도체의 힘은 식 (1)과 같다.



(a) 1본 코일구성 (b) 코일의 힘방향
그림 1. 자계중에 있어서의 1개의 코일

힘의 방향은 \overline{AB} 도체와 \overline{CD} 는 서로 역방향이며, 그림1(b)와 같이 O를 중심으로 한 회전력 T가 시계 방향으로 움직일 때 코일의 중심에서 도체까지의 거리 $R[m]$ 라면 축방향에서의 회전력 T는 다음과 같다

$$T = 2RBIL[N] \tag{2}$$

식(2)는 도체 $lrodmp$ 대한 회전력의 크기이지만 실제 전동기 의는 여러개의 도체로 구성되어 있으므로 전체도체수를 Z 라하고, $I_a = 2I$, 자속 $\Phi = \pi RLB$ 이므로 토크는 다음식으로 표시된다.

$$T = \frac{Z}{\pi} \Phi \frac{I_a}{2} = K_T I_a \tag{3}$$

여기서 K_T 를 토크정수로 표시할 수 있다. 도체는 자계를 끊어면서 생기는 역기전력 $E = vBL$ 가 발생하는데 이값의 크기는 회전 속도에 비례하여 다음식과 같이 표시할 수 있으며 이때 K_E 를 역기전력 정수라 한다.

$$E = K_E \Omega \tag{4}$$

2.2 직류전동기의 등가회로에 의한 정특성 계산

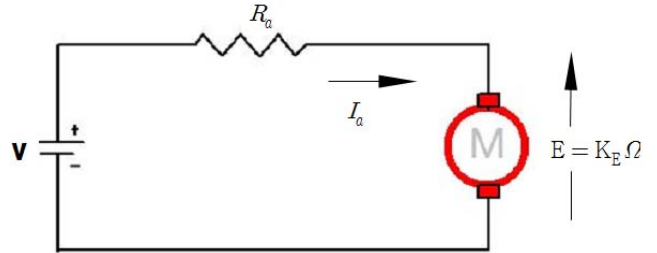


그림 2. 손실을 무시한 직류전동의 등가회로

브러시의 전압강하를 무시하면 전압에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$V = R_a I_a + K_E \Omega \tag{5}$$

전자자 저항을 R_a 와 전기자의 발전작용과의 직렬회로에 대해 속도와 토크의 관계에서 공급 전압 $V[V]$ 를 파라메타로 하여 전자자 전류 $I_a [A]$, 회전속도 Ω , 토크 T일 때 회전속도와 토크의 관계는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$T = \frac{K_T}{R_a} (V - K_E \Omega) \tag{6}$$

속도에 대해 토크는 기울기 $\frac{K_T K_E}{R_a}$ 의 크기로 반비례한다.

그림3에서는 동손이나 철손 등의 손실을 고려한 등가회로이다.

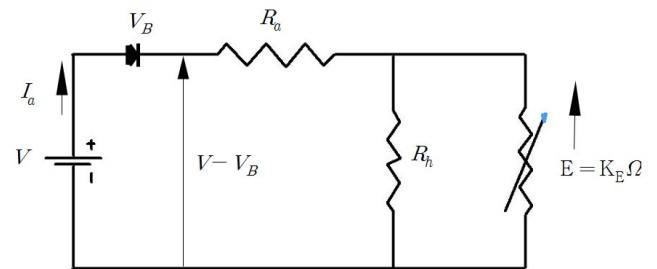


그림 3. 손실을 고려한 직류전동기의 등가회로

손실은 아마추어의 저항에 의한 주열손실 $I_a^2 R_a$ 인 동손과 회전속도의 제곱에 비례한 풍손과 기계손 및 로터가 자계중에서 회전하면서 발생하는 히스테리시스손인 철손으로 구분된다. 회전속도는 역기전력에 비례하므로 히스테리시스손은 R_h 라하면 이때 발생하는 손실은 E^2/R_h 로 되고 회전속도에 비례하므로 모든 전류손은 계자속의 제곱에 비례하므로 풍손과 기계손은 히스테리시스손에 포함될 수 있으며, 그림 3의 등가회로에서 M이라는 정수는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$M = \sqrt{(R_a + R_h)/R_a} \tag{7}$$

여기서 시험에 의해 구하는 경우에는 무부하 속도를 $\Omega_0 [rad/s]$, 경부하를 걸었을 때 회전속도의 변화분을 $\Delta\Omega [rad/s]$, 무부하전류를 $I_0 [A]$, 경부하를 걸었을 때 전류의 변화분을 $\Delta I [A]$ 라하면 M은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$M = \sqrt{(\Omega_0/I_0)(\Delta I/\Delta \Omega) + 1} \quad (8)$$

여기서 최대 효율과 전류 및 속도는 다음 식으로 구할 수 있다.

최대 효율 $\eta_{max} = (M-1)/(M+1)$ 이때의 전류 $I^* = MI_0$, 이때의 속도는 $\Omega^* = M/(M+1)\Omega_0$ 로 된다.

최대 효율시의 토크 $T^* = \text{입력전력} \times \eta_{max} / \Omega^*$ 이므로

$$T^* = (M-1)VI_0/\Omega_0 \quad (9)$$

브러쉬에 의한 전압 강하를 V_B 라 하면 그림 3에서 무부하시 다음식이 성립한다.

$$V - V_B = I_0(R_a + R_h) \quad (10)$$

이므로 히스테리시스손은 식(10)에서 $R_h = (V - V_B)/I_0 - R_a$ 이다. 전동기를 구속시킨 상태에서는 $R_L = 0$ 이므로 $V = V_B + I_a R_a$ 가 된다.

식(7)과 식(10)의 관계에서 $R_a = (V - V_B)/(I_0 M^2)$ 를 구속시험에 의해 구할 수 있다.

여기서 전기자 전류는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$I_a = (V - V_B - E)/R_a \quad (11)$$

이상에서 손실은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{loss} = \frac{V - V_B - E}{R_a}(V - E) + \frac{E^2}{R_h} \quad (12)$$

출력은 역기전력과 입력전류의 곱에 손실 R_h 를 뺀 값이므로

$$P_{out} = \frac{E(V - V_B - E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_h} \quad (13)$$

입력은 손실과 출력의 합 또는 단자전압과 입력전류의 곱이므로

$$P_{in} = V \frac{(V - V_B - E)}{R_a} \quad (14)$$

효율은 출력/입력이므로

$$\eta = \frac{\frac{E(V - V_B - E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_h}}{V \frac{(V - V_B - E)}{R_a}} = \frac{E}{V} \cdot \frac{R_a}{R_h} \cdot \frac{E^2}{V(V - V_B - E)} \quad (15)$$

이고 토크는 $T = P_{out}/\Omega$ 이므로 식(12)와 $\Omega = E/K$ 를 적용하면

$$T = \left(\frac{V - V_B - E}{R_a} - \frac{E}{R_h} \right) K \quad (16)$$

이들의 관계식을 Ω 함수로 쓰면 $E = K\Omega$ 로 되고 이들 식을 이용하여 K는 $K = (V - V_B - R_a I_0)/\Omega_0$ 로 된다.

2.2 직류전동기의 특성 계산 순서도

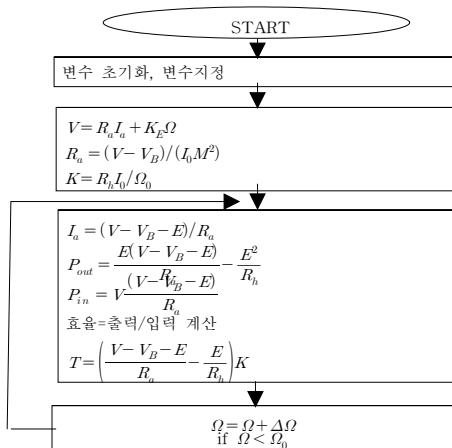


그림 4. 특성계산 순서도

3. 특성계산 프로그램

그림 4에 직류전동기의 특성을 계산하는 순서도를 나타내었다

표1. 직류전동기 특성 계산값

n	ia	Pin	Pou	eta	tk
0000	03.582	42.985	00.000	0.0000	0.1989
0010	03.565	42.777	00.207	0.4645	0.1979
0020	03.547	42.569	00.412	0.9689	0.1969
0030	03.530	42.360	00.616	1.4533	0.1959
0040	03.513	42.152	00.817	1.9376	0.1950
0050	03.495	41.944	01.016	2.4219	0.1940
0060	03.478	41.736	01.213	2.9062	0.1930
0070	03.461	41.527	01.408	3.3904	0.1921
0080	03.443	41.319	01.601	3.8746	0.1911
0090	03.426	41.111	01.792	4.3588	0.1901
0100	03.409	40.903	01.981	4.8429	0.1892
0110	03.391	40.694	02.168	5.3270	0.1882
0120	03.374	40.486	02.353	5.8110	0.1872
0130	03.356	40.278	02.536	6.2950	0.1862
0140	03.339	40.070	02.716	6.7790	0.1853
0150	03.322	39.861	02.895	7.2629	0.1843
0160	03.304	39.653	03.072	7.7468	0.1833
0170	03.287	39.445	03.247	8.2306	0.1824
0180	03.270	39.237	03.419	8.7144	0.1814
0190	03.252	39.028	03.590	9.1981	0.1804

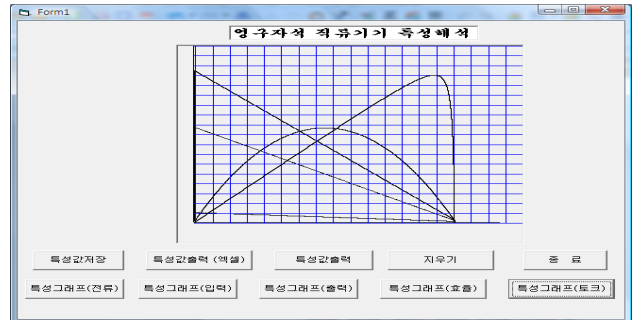


그림 5 직류전동기 특성 계산 화면

```

Command10_Click()
Private Sub Command10_Click()
Dim m
Dim q
Dim scale_w
Dim scale_h
Picture1.Line (250, 5040)-(5000, 5040) : '속도 그리기
Picture1.Line (240, 1)-(240, 5040) : '토크 그리기
scale_w = Picture1.ScaleWidth
scale_h = Picture1.ScaleHeight
For m = 1 To 19
Picture1.Line (250, scale_h / 20 * (m - 1))-(scale_w, scale_h / 20 * (m - 1)
Next m
For q = 2 To 21
Picture1.Line (scale_w / 20 * (q - 1), 0)-(scale_w / 20 * (q - 1), scale_h
Next q
t = 0: nb = 0: iab = 0: Pinb = 0: Poub = 0: etab = 0: tkb = 0
v = 12: vb = 0: ra = 3.35: i0 = 0.0262: n0 = 4049: dn = 0.05
' 계산
RH = (v - vb) / i0 - ra
K = RH * i0 / (n0 / 9.549)
For n = 0 To n0 Step dn
aa:
DM = n / 9.549
E = K * DM
ia = (v - vb - E) / ra
Pou = E * (v - vb - E) / ra - E * E / RH
Pin = v * (v - vb - E) / ra
eta = Pou / Pin * 100
tk = K * (v - vb - E) / ra - K * E / RH
Picture1.Line (n + 250, 5000 - Pin * 100)-(nb + 250, 5000 - Pinb * 100)
iab = ia: Pinb = Pin: nb = n: Poub = Pou: etab = eta: tkb = tk
Next
Picture1.Print "속도-출력"
End Sub

```

그림 6. 속도대 토크 특성곡선 작도 프로그램

4. 결 론

전동기 공급 전압을 12[V], 전기자 저항 ra는 3.35[A], 무부하시전류 i0는 0.0262이고, 무부하시속도가 n0가 4049일 때 최대효율은 84.2[%]이고, 최대 토크는 0.1[N.m] 이었다.

출력이 10.67[W]로 최대 일 때 전류는 1.8[A], 입력은 21.7[W] 효율은 49[%], 토크는 0.05[N.m]이었다.

전동기의 특성해석 프로그램에 사용하기에 편리한 Visual Basic을 이용하여, 영구자석 전동기의 기본 특성 이론을 정립시키고 이를 속도변환시 전류와 입력 출력, 효율, 토크의 변화를 계산하는 프로그램으로 최적의 전동기의 제량을 산출할 수 있는 기초자료로 활용이 가능한 것으로 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 見城尙志,永守重信 “메카트로닉스의ためDCサーボモタ”, 總合電子出版社, 1982.
- [2] 大川光吉,“永久磁石磁氣回路設計.特性計算法” 總合電子出版社, 1987.
- [3] 박정희, “VISUAL BASIC6.0”, 상조사, 2000.
- [4] 竹内壽太郎,“電氣設計大學講義”, Ohm社, 1980