

Brushless DC Motor Fundamentals Application Note

브러시리스 DC 모터 기본 사항 애플리케이션 노트

ABSTRACT (개요?)

This application note provides a general overview of BLDC motors, including their advantages against other commonly-used motors, structure, electromagnetic principles, and mode of operation.

이 애플리케이션 노트는 BLDC모터에 대한 일반적으로 사용되는 모터, 구조, 전자기 원리, 및 작동모드를 제공한다.

This document also examines control principles using Hall sensors for both single-phase and three-phase BLDC motors, and a brief introduction to sensorless control methods using BEMF for a three-phase BLDC motor.

이 문서는 또한 단상 및 삼상 BLDC 모터에 홀 센서를 사용하는 제어 원리를 검토하고 삼상 BLDC 모터에 BEMF를 사용하는 센서리스 제어 방법에 대해 간략하게 소개합니다.

1. INTRODUCTION 소개

The BLDC motor is widely used in applications including appliances, automotive, aerospace, consumer, medical, automated industrial equipment and instrumentation.

BLDC 모터는 가전 제품, 자동차, 우주 항공, 소비자, 의료, 자동화 산업 장비 및 계측기와 같은 애플리케이션에 널리 사용됩니다.

The BLDC motor is electrically commutated by power switches instead of brushes. Compared with a brushed DC motor or an induction motor, the BLDC motor has many advantages.

BLDC 모터는 브러시 대신 전원 스위치로 전기적으로 정류됩니다.

브러시 드 DC 모터 또는 유도 전동기와 비교할 때, BLDC 모터는 많은 장점을 가지고 있습니다.

Higher efficiency and reliability (높은 효율과 신뢰성)

- Lower acoustic noise (낮은 소음)
- Smaller and lighter (작고 가벼운)
- Greater dynamic response (더 큰 동적 응답)
- Better speed versus torque characteristics (더 나은 속도 대 토크 특성)
- Higher speed range(높은 속도 범위)
- Longer life (수명 연장)

This document initially provides a general overview to familiarize the reader with motor control fundamentals, terms and concepts, and applications
The latter portion of this document provides detailed descriptions of motor structure, working principle, characteristics and control methods.

이 문서는 처음에 모터 제어의 기본 사항, 용어 및 개념, 응용 프로그램을 익히기 위한 일반적인 개요를 제공합니다.

이 문서의 후반부에는 모터 구조, 작동 원리, 특성 및 제어 방법에 대한 자세한 설명이 나와 있습니다.

2. MOTOR FUNDAMENTAL CONCEPTS (모터 기본 개념)

2.1 General Motor Principles (일반적인 운동 원리)

Motors convert electrical energy into mechanical energy using electromagnetic principles. The energy conversion method is fundamentally the same in all electric motors
This document starts with a general overview of basic electromagnetic physics before entering discussing the details of motor operation.

모터는 전자기 원리를 사용하여 전기 에너지를 기계 에너지로 변환합니다.

에너지 변환 방법은 근본적으로 모든 전동기에서 동일합니다

이 문서는 모터 작동에 대한 세부 사항을 논의하기 전에 기본 전자기 물리학에 대한 일반적인 개요로 시작합니다.

a. Magnetic Force(자력)

Magnetic poles generate invisible lines of magnetic force flowing from the north pole to the south pole as shown in Figure 1. When magnetic poles of opposite polarity face each other, they generate an attractive force, while like poles generate a repulsive force.

자기 극은 그림 1과 같이 북극에서 남극까지 흐르는 보이지 않는 자력선을 생성합니다
반대 극성의 자극이 서로 마주 할 때, 자극은 인력을 생성하는 반면 풀은 반발력을 생성합니다.

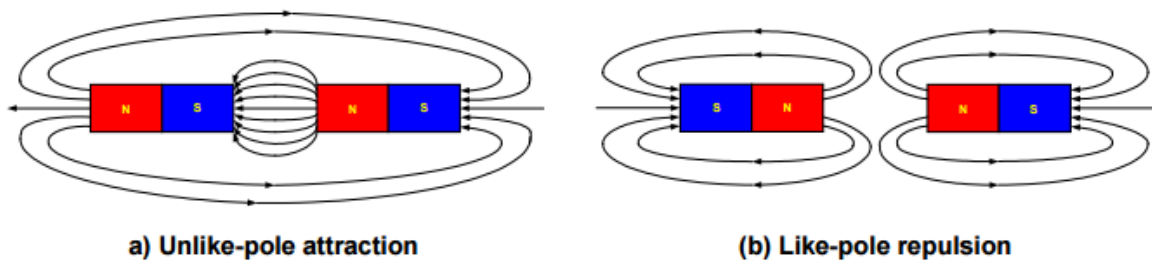


Figure 1—Magnetic Force

b. Left-Hand Rule (원손 법칙)

Current in a conductor generates a magnetic field. Placing a conductor in the vicinity of a separate magnetic can generate a force that reaches its apex when the conductor is at 90° to the external field. The left-hand rule can help the user determine the direction of the force, as shown in Figure 2(a)

도체의 전류는 자기장을 생성합니다.

별도의 자기 근처에 도체를 배치하면 도체가 외부 필드(외부장)와 90° 에있을 때 꼭지점에 도달하는 힘을 생성 할 수 있습니다.

원손 규칙은 그림 2 (a)와 같이 사용자가 힘의 방향을 결정하는 것을 도울 수있다.

/*field (장(자기장 할때의 장))*/

Left-Hand Rule: Extend the left hand with the thumb and four fingers on the same plane with the thumb pointing out. Face the palm towards the north pole of the external magnetic field and the four fingers in the direction of the current; the thumb points in the direction of the force

원손 법칙 : 엄지 손가락과 같은 손가락으로 4 개의 손가락으로 왼손을 펴십시오..

손바닥을 외부 자기장의 북극쪽으로 향하게하고 네 손가락을 전류 방향으로 향하게합니다.

엄지 손가락은 힘의 방향을 가리 킵니다.

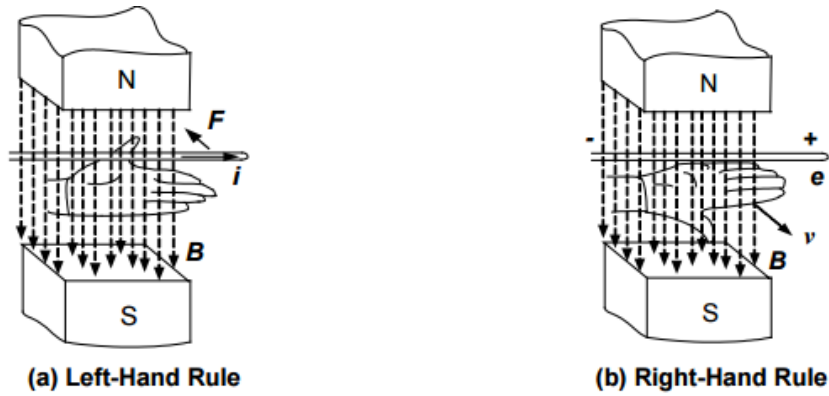


Figure 2—Left-Hand Rule and Right-Hand Rule

The magnitude of the force can be calculated from the equation below:

힘의 크기는 아래 방정식에서 계산할 수 있습니다.

$$F = BIL \sin \theta \quad (1)$$

Where F is the electromagnetic force, B is the magnetic field density, I is the conductor current, L is the length of the conductor, and θ is the angular difference between B and I.

여기서 F는 전자기력, B는 자기장 밀도, I는 도체 전류, L은 도체의 길이, θ 는 B와 I 사이의 각도 차이입니다.

Given that a coil usually has two effective conductors:

a-b and c-d shown in Figure 3(a), these two conductors induce two forces of opposite direction when current passes through in the magnetic field.

코일에는 일반적으로 두 개의 유효한 도체가 있습니다.

a-b 및 c-d에 도시된 바와 같이, 이 두 도체는 전류가 자기장을 통과할 때 반대 방향의 두 가지 힘을 유도한다.

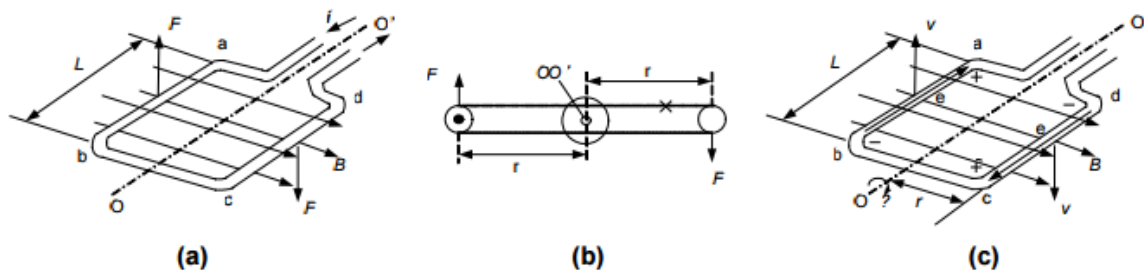


Figure 3—Coil in a Magnetic Field

The torque is the product of the tangential force acting at a radius with units of force multiplied by length. If there are N continuous coil turns, and based on the parameters in Figure 3(b), the generated torque equals:

토크는 힘의 단위 길이를 곱한 반경에 작용하는 접선 력의 곱이다. 그림 3 (b)의 매개 변수에

$$T_D = 2rFN = 2rBLN = K_T I \quad (2)$$

따라 N 회 연속 코일 턴이 존재하는 경우, 생성 된 토크는 다음과 같이됩니다.

Where:

- T_D is the electromagnetic torque ($N \cdot m$) (T_D 는 전자기 토크 ($N \cdot m$))
- r is the distance between axis OO' and the conductor (m) (r 은 축 OO' 와 도체 (m) 사이의 거리)
- N is the number of winding turns (N 은 권선 횟수)
- $K_T = 2rBLN$ is the torque constant ($N \cdot m/A$). ($K_T = 2rBLN$ 은 토크 상수 ($N \cdot m / A$)입니다)

.

c. Right-Hand Rule (오른손의 법칙)

The movement of the conductor in the magnetic field induces an electromotive force known as the BEMF. The right-hand rule can determine the direction of the force as shown in Figure 2(b).

자기장의 도체의 움직임은 BEMF로 알려진 기전력을 유발한다. 오른손 법칙은 그림 2 (b)와 같이 힘의 방향을 결정할 수 있다.

The Right-Hand Rule: Stretch out the right hand with the four fingers and the thumb on the same plane, the palm facing the north pole of the external magnetic field, and the thumb pointing in the direction of the velocity of v . The four fingers point in the direction of the induced electromotive force. The magnitude of the induced electromotive force can be calculated as.

오른손 법칙 : 네 손가락과 엄지 손가락을 같은 평면에두고 손바닥을 외부 자기장의 북극을 향하게하고 엄지 손가락을 v 의 속도 방향을 가리 키면서 오른손을 잡아 당깁니다.

네 손가락은 유도 기전력의 방향을 가리킨다. 유도 기전력의 크기는 다음과 같이 계산 할 수 있습니다

$$E = BLv \sin \theta \quad (3)$$

Where:

E is the induced electromagnetic force (V). (E 는 유도 전자기력 (V)이다.)

v is the velocity of the conductor (m/s). (v 는 도체의 속도 (m / s)입니다.)

θ is the angular difference between B and L (rad). (θ 는 B 와 L 사이의 각도 차이 (rad)입니다.)

When the motor rotates at an angular velocity of ω (rad/s) and there are N coil turns, the total electromotive force is:

모터가 ω (rad / s)의 각속도로 회전하고 N 개의 코일 권선이있을 때, 기전력은 다음과 같습니다,

$$E = 2BLvN = 2BL\omega rN = K_E\omega \quad (4)$$

Where:

ω is the angular velocity (rad/s). (ω 는 각속도 (rad / s)이다)

r is the internal radius of the motor (m). (r 은 모터의 내부 반경 (m)입니다.)

$K_E=2rBLN$ is the electromotive force constant (V·s/rad). ($K_E = 2rBLN$ 은 기전력 상수 (Vs / rad)입니다.)

Based on the parameters from Figure 3(c)

그림 3 (c)의 매개 변수에 근거하고 있습니다.

d. Right-Hand Corkscrew Rule (오른손 코르크 마개 규칙)

Given that an electrical current flowing in a straight line generates a magnetic field as shown in Figure 4(a) coiling the conductor would therefore generate clear magnetic poles as shown in Figure 4(b),

직선에 흐르는 전류가 그림 4 (a)와 같이 자기장을 발생한다고 가정하면 도체를 감 으면 그림 4 (b)와 같이 명확한 자극이 발생한다. 오른쪽 코르크마개 법칙에 의해 결정되는 자기장의 방향이다.

Right-Hand Corkscrew Rule: For a current flowing in a straight line as shown in Figure 4(a), the thumb points in the direction of the current I , and the fingers curl in the direction of the magnetic field B . For a coiled current as shown in Figure 4(b), the fingers curl in the direction of the current I , and then the thumb points in the direction of the magnetic field B through the center of the loop.

오른쪽 손 코르크 마개규칙 : 그림 4 (a)와 같이 직선으로 흐르는 전류의 경우, 엄지 손가락은 전류 I 의 방향을 가리키고 손가락은 자기장 B 의 방향으로 말린다. 그림 4 (b)에 나타낸 바와

같은 코일 전류의 경우 손가락은 전류 I 방향으로 감은 다음 엄지 루프의 중심을 지나가는 자기장 B 의 방향을 가리킨다.

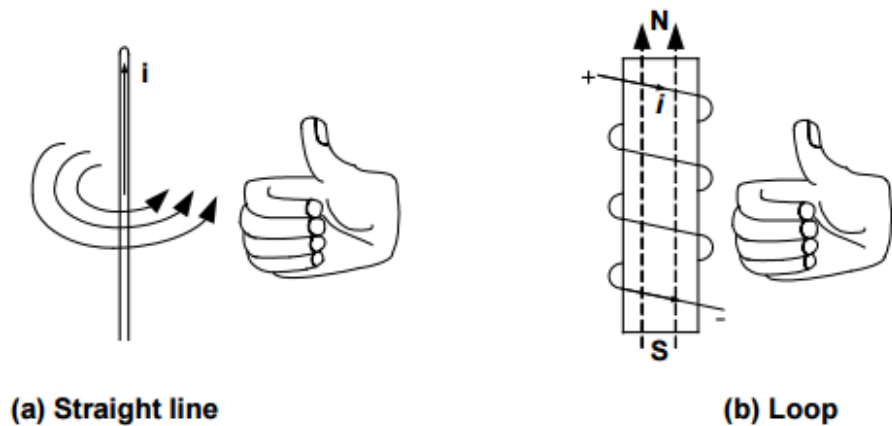


Figure 4—Right-Hand Corkscrew Rule

2.2 Stator

There are three classifications of the BLDC motor: single-phase, two-phase and three-phase. This discussion assumes that the stator for each type has the same number of windings. The single-phase and three-phase motors are the most widely used. Figure 5 shows the simplified cross section of a single-phase and a three-phase BLDC motor. The rotor has permanent magnets to form 2 magnetic pole pairs, and surrounds the stator, which has the windings

BLDC 모터에는 단상, 2 상 및 3 상 분류가 있습니다. 이 설명에서는 각 유형의 고정자가 동일한 수의 권선을 사용한다고 가정합니다. 단상 및 삼상 모터가 가장 널리 사용됩니다. 그림 5는 단상 및 3 상 BLDC 모터의 단순화 된 단면을 보여줍니다. .로터는 2 개의 자극 쌍을 형성하는 영구 자석을 가지고 권선을 갖는 고정자를 둘러싸고있다.

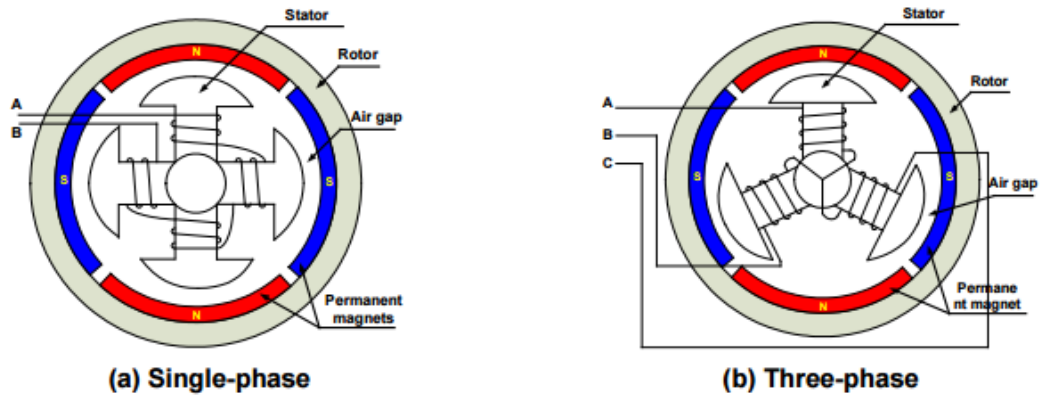


Figure 5—Simplified BLDC Motor Diagrams

A single-phase motor has one stator winding—wound either clockwise or counter-clockwise along each arm of the stator—to produce four magnetic poles as shown in Figure 5(a). By comparison, a three-phase motor has three windings as shown in Figure 5(b). Each phase turns on sequentially to make the rotor revolve.

단상 모터는 그림 5 (a)에 나타난 바와 같이, 4 개의 자극을 생성하기 위해 상태의 각 암에 따라 시계 방향 또는 시계 반대 방향으로 감겨진 하나의 상태를 가진다. 비교하면 3 상 모터는 그림 5 (b)와 같이 3 개의 코일이 있다. 각 상이 순차적으로 켜져(회전사여) 로터가 회전한다.

There are two types of stator windings: trapezoidal and sinusoidal, which refers to the shape of the back electromotive force (BEMF) signal. The shape of the BEMF is determined by different coil interconnections and the distance of the air gap. In addition to the BEMF, the phase current also follows a trapezoidal and sinusoidal shape. A sinusoidal motor produces smoother electromagnetic torque than a trapezoidal motor, though at a higher cost due to their use of extra copper windings. A BLDC motor uses a simplified structure with trapezoidal stator windings.

고정자 권선에는 역기전력 (BEMF) 신호의 형상을 나타내는 사다리꼴 및 사인파의 2 종류가 있습니다. BEMF의 형상은 다른 코일 상호 연결 및 공극의 거리에 의해 결정된다. BEMF 이외에 위상 전류도 사다리꼴 및 정현파의 형상을 갖는다. 정현파 모터는 사다리꼴 모터보다 부드러운 전자기 토크를 생성하지만, 여분의 구리 권선을 사용하기 위해 비용이 높다.

BLDC 모터는 사다리꼴의 상태 권선을 갖는 단순화 된 구조를 사용한다.

2.3 Rotor (회전하는 전자)

A rotor consists of a shaft and a hub with permanent magnets arranged to form between two to eight pole pairs that alternate between north and south poles. Figure 6 shows cross sections of three kinds of magnets arrangements in a rotor.

로터는 샤프트와 북극과 남극 사이에서 교대하는 2 ~ 8 극 쌍을 형성하도록 배열 된 영구 자석이있는 허브로 구성됩니다. 그림 6은 로터의 3 종류의 자석 배치의 단면을 보여준다.

There are multiple magnet materials, such as ferrous mixtures and rare-earth alloys. Ferrite magnets are traditional and relatively inexpensive, though rare-earth alloy magnets are becoming increasingly popular because of their high magnetic density. The higher density helps to shrink rotors while maintaining high relative torque when compared to similar ferrite magnets.

철 화합물과 희토류 합금 등의 여러 자석 재료가 있습니다. 희토류 합금 자석은 높은 자기 밀도를 위해 점점 인기를 끌고 있지만, 페라이트 자석은 전통적이고 비교적 저렴하다. 밀도가 높을수록 로터를 작게하는 데 도움이됩니다. 같은 페라이트 자석에 비해 높은 상대 토크를 유지한다.

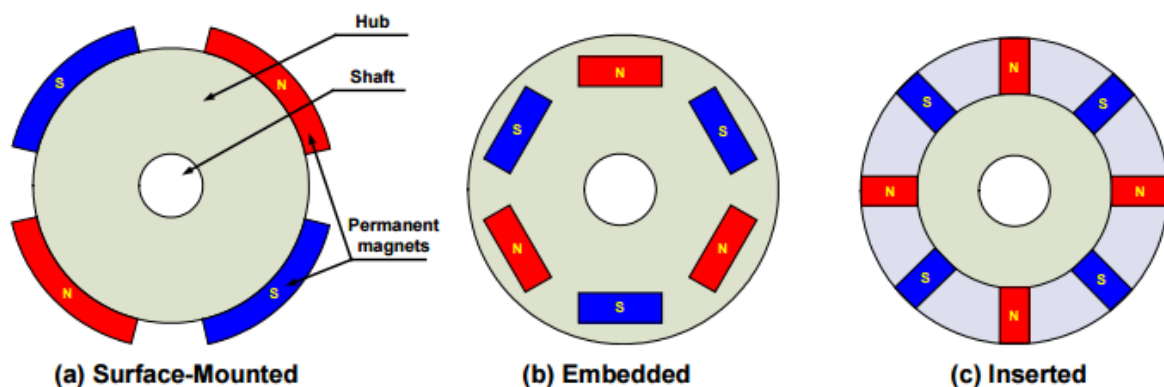


Figure 6—Rotor Magnets Cross-Sections

2.4 Operational Motor Theory (모터 작동 이론)

Motor operation is based on the attraction or repulsion between magnetic poles. Using the three-phase motor shown in Figure 7, the process starts when current flows through one of the three stator windings and generates a magnetic pole that attracts the closest permanent magnet of the opposite pole. The rotor will move if the current shifts to an adjacent winding.

모터 작동은 자극 사이의 인력 또는 반발력을 기반으로합니다. 그림 7의 3 상 모터를 사용하면 전류가 3 개의 고정자 권선 중 하나를 통해 흐르고 대극의 가장 가까운 영구 자석을 끌어 당기는 자극을 생성 할 때 프로세스가 시작됩니다. 전류가 인접한 권선으로 이동하면 로터가 움직입니다.

Sequentially charging each winding will cause the rotor to follow in a rotating field. The torque in this example depends on the current amplitude and the number of turns on the stator windings, the strength and the size of the permanent magnets, the air gap between the rotor and the windings, and the length of the rotating arm.

연속적으로 각 권선을 충전하면 로터가 회전하는 필드를 따라라게 된다.

이 예에서 토크는 고정자 권선의 전류 진폭 및 회전수, 영구자석의 강도 및 크기, 횡 ㅓ ㄴ자와

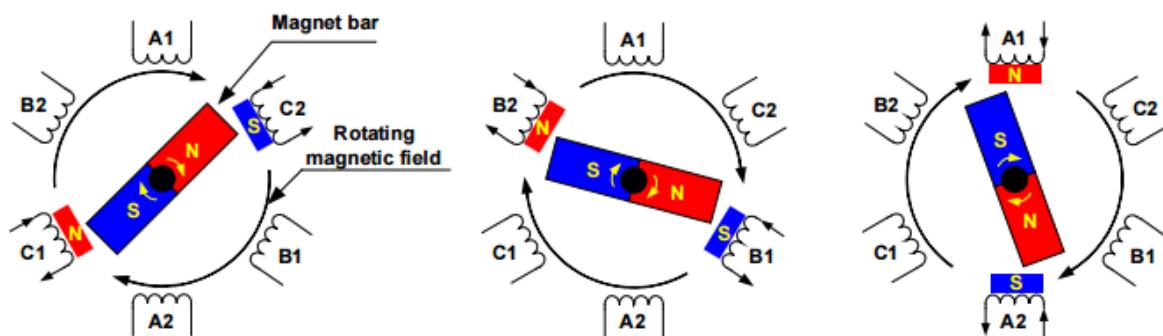


Figure 7—Motor Rotation

권선 사이의 공극 및 회전 암의 길이에 따라 달라진다

3. MOTOR VARIETIES

There are multiple varieties of electric motor differentiated by structure and signal type, but are generally based on the same principle as the three-phase motor previously discussed. Figure 8[2] diagrams the different motors organized by classifying features. Figure 8[2] diagrams the different motors organized by classifying features.

구조 및 신호 유형에 따라 구분되는 전기 모터는 여러 종류가 있지만, 일반적으로 위의 3 상 모터와 같은 원리입니다 그림 8은 형상을 분류하여 구성된 다른 모터를 보여줍니다.

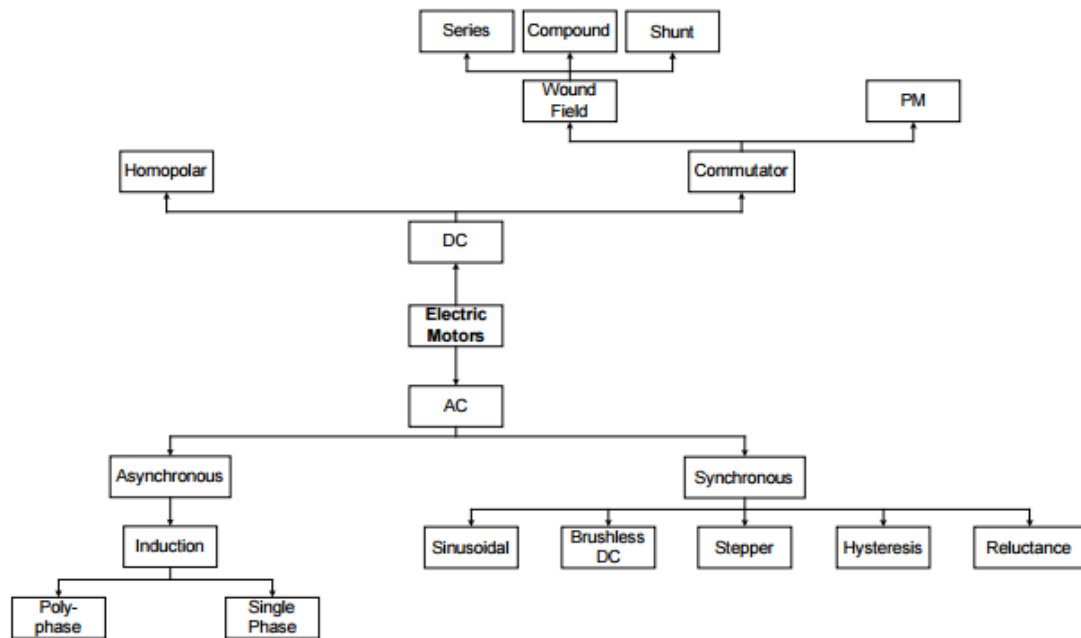


Figure 8—Motor Classification

The primary difference between AC and DC motors is the power type applied to the armature.

From this vantage, a BLDC motor actually is an AC motor. The difference between an asynchronous and a synchronous motor is whether or not the rotor runs at the same frequency as the stator. Each motor favors specific applications. Figure 9 illustrates some of the more popular motor designs.

AC 모터와 DC 모터의 주요 차이점은 전기자에 적용되는 전력 타입입니다.

이 이점에서 BLDC 모터는 실제로는 AC 모터입니다. 비동기 모터와 동기 모터의 차이점은 로터가 고정자와 동일한 주파수에서 작동하는지 여부입니다. 각 모터는 특정 용도에 적합합니다. 그림 9는 일반적인 모터 설계의 일부를 보여줍니다.

3.1 Introduction to Various Motor Types (다양한 모터 유형 소개)

a. Brushed DC Motor

A brushed DC motor consists of a commutator and brushes that convert a DC current in an armature coil to an AC current, as shown in Figure 9(a). As current flows through the commutator through the armature windings, the electromagnetic field repels the nearby magnets with the same polarity, and causes the winging to turn to the attracting magnets of opposite polarity.

브러시 드 DC 모터는 그림 9 (a)에 나타낸 바와 같이, 전기자 코일의 DC 전류를 AC 전류로 변환하는 정류와 브러시로 구성되어 있습니다. 전기자 권선을 통해 정류자를 통해 전류가 흐르면 전자기장은 같은 극성으로 인접한 자석을 밀어 내고 날개를 반대 극성의 흡착 자석으로 돌립니다.

As the armature turns, the commutator reverses the current in the armature coil to repel the nearby magnets, thus causing the motor to continuously turn. The fact that this motor can be driven by DC voltages and currents makes it very attractive for low cost applications. However, the arcing produced by the armature coils on the brush-commutator surface generates heat, wear, and EMI, and is a major drawback.

전기자가 돌아 가면 정류자는 전기자 코일의 전류를 반전시켜 근처의 자석을 밀어내어 모터가 계속 회전하도록합니다. 이 모터가 DC 전압 및 전류에 의해 구동 될 수 있다는 사실은 저비용 어플리케이션에 매우 매력적입니다. 그러나, 브러시 - 정류자 표면상의 전기자 코일에 의해 생성 된 아크는 열, 마모 및 EMI를 발생시켜 큰 단점이다..

b. Brushless DC (BLDC) Motor

A BLDC motor accomplishes commutation electronically using rotor position feedback to determine when to switch the current. The structure is shown in Figure 9(b). Feedback usually entails an attached Hall sensor or a rotary encoder

BLDC 모터는 전류를 전환시기를 결정하기 위해 로터 위치 피드백을 사용하여 전자적으로 정류를 달성합니다. 그 구조는 그림 9 (b)에 나타낸다. 피드백은 일반적으로 제공된 홀 센서 또는 로터리 엔코더가 필요합니다

The stator windings work in conjunction with permanent magnets on the rotor to generate a nearly uniform flux density in the air gap. This permits the stator coils to be driven by a constant DC voltage (hence the name brushless DC), which simply switches from one stator coil to the next to generate an AC voltage waveform with a trapezoidal shape.

고정자 권선은 로터의 영구 자석과 협력하여 공극 내에 거의 균일 한 자속 밀도를 생성한다. 따라서 고정자 코일을 일정한 직류 전압 (따라서 브러시리스 DC라는 명칭)로 구동 할 수 고정자 코일을 차례로 전환하여 사다리꼴의 AC 전압 파형을 생성하는 것이

c. AC Induction Motor (ACIM) (AC유도 전동기(ACIM))

A sinusoidal AC current runs through the stator to create a rotating variable magnetic field that induces a current in the rotor (typically made of non-ferrous materials). This induced current circulates in the bars of the rotor to generate a magnetic field. These two magnetic fields run at different frequencies (usually $\omega_s > \omega_r$ for the motor) and to generate torque. Figure 9(c) shows the motor structure.

정현파 (sinusoidal) AC 전류는 고정자를 통과하여 회전자 (전형적으로 비철 재료로 제조됨)에 전류를 유도하는 회전 가변 자기장을 생성한다. 이 유도 전류는 자기장을 생성하기 위해 회전자 막대에 순환합니다. 이 두 자기장은 서로 다른 주파수 (일반적으로 $\omega_s > \omega_r$)로 흘러 토크를 발생시킵니다 그림 9 (c)는 모터 구조를 보여준다.

.d. Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) (영구 자석 동기 모터)

The PMSM motor shares some similarities with the BLDC motor, but is driven by a sinusoidal signal to achieve lower torque ripple. The sinusoidal distribution of the multi-phase stator windings generates a sinusoidal flux density in the air gap that is different from BLDC motor's trapezoidal flux density.

PMSM 모터는 BLDC 모터와 몇 가지 유사점을 공유하지만, 더 낮은 토크 리플을 달성하기 위해 정현파 신호에 의해 구동됩니다. 다상 고정자 권선의 정현파 분포는 BLDC 모터의 사다리꼴 자속 밀도와는 다른 공극의 정현파 자속 밀도를 생성한다.

However, newer designs can achieve this sinusoidal flux density with concentrated stator windings and a modified rotor structure. Rotor magnet position can significantly alter the electrical properties of a PMSM; Mounting the rotor magnets on the surface—as shown in Figure 6(a)—results in lower torque ripple, while burying the magnets inside the rotor structure as shown in Figure 6(b) increases saliency, which increases the reluctance torque of the motor. The structure of PMSM is shown in Figure 9(d).

그러나 새로운 설계는 집중된 고정자 권선과 수정된 회전자 구조로 이 정현파 자속 밀도를 얻을 수 있습니다. 로터 자석의 위치는 PMSM의 전기적 특성을 크게 바꿀 수 있다. 그림 6 (a)와 같이 로터 자석을 표면에 설치하여 토크 리플이 작아지고, 그림 6 (b)에 나타난 바와 같이 로터 구조에 자석을 삽입하여 철극성이 증가하여 모터의 토크 리플이 증가합니다.

e. Stepper Motor & Switched Reluctance (SR) Motor

Both stepper motors and SR motors have similar physical structures; The stator consists of concentrated winding coils while the rotor is made of soft iron laminates without coils. It has a doubly salient structure (teeth on both the rotor and stator) as shown in Figure 9(e).

스텝퍼 모터와 SR 모터는 비슷한 물리적 구조를 가지고 있습니다. 상태는 집중 권 코일로 구성되는 로터 코일없는 연철 라미네이트로 구성된다. 그림 9 (e)에서 볼 수 있듯이 이중 구조 (회 전자와 고정자의 이빨)가 두 개 있습니다.

/*고정자 뜻 .

<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1655801&cid=42330&categoryId=4233>*/

Stepper motors are designed to replace more expensive servo motors. When the current switches from one set of stator coils to the next, the magnetic attraction between rotor and stator teeth induces enough torque to rotate the rotor to the next stable position, or "step". The rotation speed is determined by the frequency of the current pulse, and the rotational distance is determined by the number of pulses. Since each step results in a small displacement, a stepper motor is typically limited to low-speed position-control applications.

스텝퍼 모터는보다 값 비싼 서보 모터를 대체하도록 설계되었습니다. 전류가 한 세트의 고정자 코일에서 다음 세트로 스위칭 할 때, 회 전자와 고정자 톱니 사이의 자기 인력은 회 전자를 다음 안정 위치 또는 "스텝"으로 회전시키기에 충분한 토크를 유도합니다. 회전 속도는 전류 펄스의 주파수, 회전 거리는 펄스 수에 의해 결정된다. 각 단계에서 변위가 작기 때문에 스텝퍼 모터는 일반적으로 저속 위치 제어 응용 프로그램으로 제한됩니다.

There is no reactive torque (magnet to magnet) in an SR motor because the rotor cannot generate its own magnetic field. Instead, both rotor and stator poles have protrusions so that the flux length is a function of angular position, which gives rise to saliency torque. This is the only torque-producing mechanism in an SR motor, which tends to result in high torque ripple. However, due to their simple design, SR motor is very economical to build, and is perhaps the most robust motor available.

SR 모터는 로터가 자신의 자기장을 생성 할 수 없기 때문에 반발 토크 (자석에서 자석)이 없습니다. 대신, 로터 및 스테이터 폴은 돌기가있어 플럭스 길이가 각도 위치의 함수가되어 돌출 토크를 발생시킵니다. 이것은 높은 토크 리플을 초래하는 경향이있는 SR 모터의 유일한 토크 생성 메커니즘입니다. 그러나 단순한 설계로 인해 SR 모터는 매우 실속있으며 모터가 가장 견고하다.

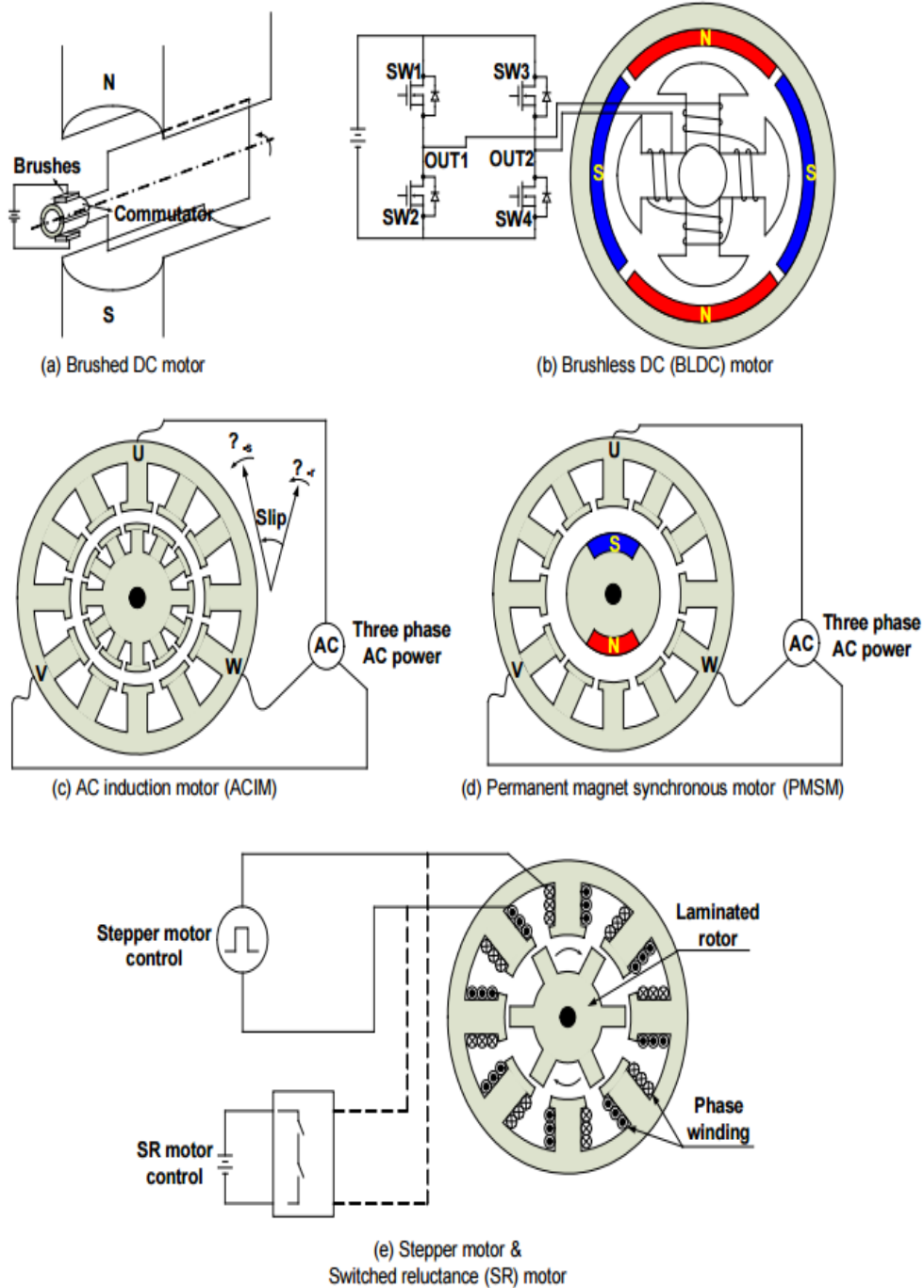


Figure 9—Structures of Different Types of Motors

3.2 Comparison of Various Motor Types (다양한 모터 유형의 비교)

The BLDC motor has several advantages over other motors. Table 1 and Table 2 summarize the advantages of the BLDC motor when compared against a brushed DC motor and an AC induction motor.

BLDC 모터는 다른 모터에 비해 몇 가지 장점이 있습니다. 표 1 및 표 2는 브러시 드 DC 모터 및 AC 유도 모터와 비교했을 때 BLDC 모터의 장점을 요약 한 것입니다.

Table 1 — Comparison between BLDC motor and brushed DC motor

Feature	BLDC Motor	Brushed DC Motor	Actual Advantage
Commutation	Electronic commutation based on rotor position information	Mechanical brushes and commutator	Electronic switches replace the mechanical devices
Efficiency	High	Moderate	Voltage drop on electronic device is smaller than that on brushes
Maintenance	Little/None	Periodic	No brushes/commutator maintenance.
Thermal performance	Better	Poor	Only the armature windings generate heat, which is the stator and is connected to the outside case of the BLDC.;The case dissipates heat better than a rotor located inside of brushed DC motor.
Output Power/ Frame Size (Ratio)	High	Moderate/Low	Modern permanent magnet and no rotor losses.
Speed/Torque Characteristics	Flat	Moderately flat	No brush friction to reduce useful torque.
Dynamic Response	Fast	Slow	Lower rotor inertia because of permanent magnets.
Speed Range	High	Low	No mechanical limitation imposed by brushes or commutator
Electric Noise	Low	High	No arcs from brushes to generate noise, causing EMI problems.
Lifetime	Long	Short	No brushes and commutator

Table 2—Comparison between BLDC Motor and AC Induction Motor

Feature	BLDC motor	AC induction motor	Actual Advantage
Speed/Torque Characteristics	Flat	Nonlinear — lower torque at lower speeds	Permanent magnet design with rotor position feedback gives BLDC higher starting and low-speed torque
Output Power/ Frame Size (Ratio)	High	Moderate	Both stator and rotor have windings for induction motor
Dynamic Response	Fast	Low	Lower rotor inertia because of permanent magnet
Slip Between Stator And Rotor Frequency	No	Yes; rotor runs at a lower frequency than stator by slip frequency and slip increases with load on the motor	BLDC is a synchronous motor, induction motor is an asynchronous motor

The primary disadvantage of BLDC is cost, though this is no inherent reason due to the motor itself ; the construction of a BLDC motor is actually simpler than that of brushed DC

motor or AC induction motor. The higher cost of BLDC motor is caused by the additional driver circuit for BLDC motor. However if the application requires adjustable speed, accurate position control, or requires a driver circuit, then BLDC motor is not only advantageous but also less expensive overall.

BLDC의 가장 큰 단점은 모터 자체로 인한 고유 한 이유는 아니지만 비용입니다. BLDC 모터의 구성은 실제로 브러시 드 DC 모터 또는 AC 유도 모터보다 간단합니다. BLDC 모터의 비싼 비용은 BLDC 모터 용 추가 드라이버 회로에 의해 발생합니다. 그러나 응용 프로그램이 조정 가능한 속도, 정확한 위치 제어를 필요로 하는 경우, 또는 드라이버 회로를 필요로 하는 경우 BLDC 모터는 전반적으로 유리한뿐만 아니라 저렴합니다.

4. BRUSHLESS DC MOTOR CONTROL (DC모터 제어)

4.1 Switch Configuration and PWM (스위치 구성 및 PWM)

Brushless DC motors use electric switches to realize current commutation, and thus continuously rotate the motor. These electric switches are usually connected in an H-bridge structure for a single-phase BLDC motor, and a three-phase bridge structure for a three-phase BLDC motor shown in Figure 10. Usually the high-side switches are controlled using pulse-width modulation (PWM), which converts a DC voltage into a modulated voltage, which easily and efficiently limits the startup current, control speed and torque. Generally, raising the switching frequency increases PWM losses, though lowering the switching frequency limits the system's bandwidth and can raise the ripple current pulses to the points where they become destructive or shut down the BLDC motor driver

브러시리스 DC 모터는 전기 스위치를 사용하여 전류 정류를 실현하고, 따라서 모터를 연속적으로 회전시킨다. 이러한 전기 스위치는 일반적으로 단상 BLDC 모터의 경우 H-브리지 구조로, 그림 10의 경우는 3 상 BLDC 모터의 경우 3 상 브리지 구조로 연결됩니다. 일반적으로 하이 사이드 스위치는 DC 전압을 변조 전압으로 변환하는 펄스 폭 변조 (PWM)를 사용하여 제어되고, 기동 전류 제어 속도, 토크를 쉽고 효율적으로 제한합니다. 일반적으로 스위칭 주파수를 높이면 PWM 손실이 증가하지만 스위칭 주파수를 낮추면 시스템 대역폭이 제한되고 BLDC 모터 드라이버를 파괴하거나 파괴되는 지점으로 리플 전류 펄스를 높일 수 있다

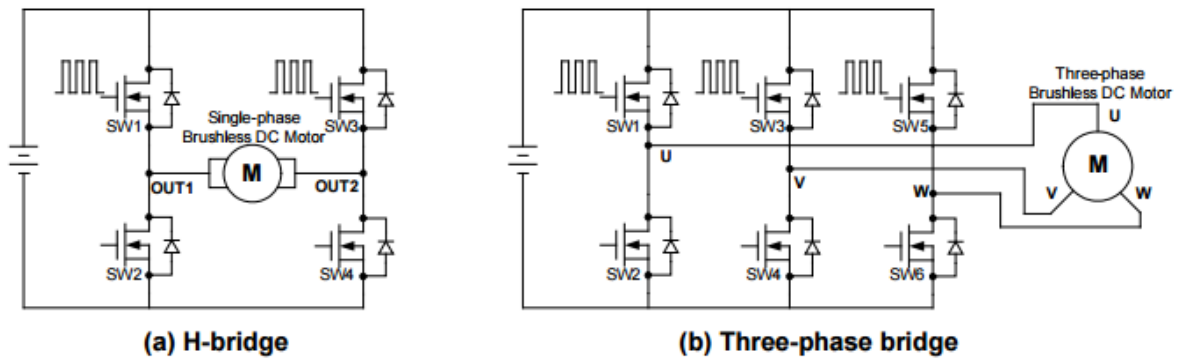


Figure 10—Electric driver circuit

4.2 Electronics Commutation Principle (전자 정류 원리)

a. Single-Phase BLDC Motor (단상 BLDC 모터)

BLDC commutation relies on feedback on the rotor position to decide when to energize the corresponding switches to generate the biggest torque. The easiest way to accurately detect position is to use a position sensor. The most popular position sensor device is Hall sensor. Most BLDC motors have Hall sensors embedded into the stator on the non-driving end of the motor.

BLDC 정류는 회 전자 위치에 대한 피드백을 사용하여 해당 스위치에 전압을 가해 최대 토크를 발생시키는시기를 결정합니다. 위치를 정확하게 감지하는 가장 쉬운 방법은 위치 센서를 사용하는 것입니다. 가장 많이 사용되는 위치 센서 장치는 홀 센서입니다. 대부분의 BLDC 모터에는 홀 센서가 모터의 비 구동 단의 고정자에 내장되어 있습니다.

Figure 11 shows the commutation sequence of a single-phase BLDC motor driver circuit. The permanent magnets form the rotor and are located inside the stator.

그림 11은 단상 BLDC 모터 드라이버 회로의 정류 시퀀스를 보여준다.영구 자석 로터를 형성하고, 고정자의 안쪽에 위치한다.

A Hall position sensor ("a") is mounted to the outside stator, which induces an output voltage proportional to the magnetic intensity (assume the sensor goes HIGH when the rotor's North Pole passes by, and goes LOW when the rotor's South Pole passes by). SW1 and SW4 turn on when Hall sensor output is HIGH, as shown in Figure 11(a) and (b). At this stage, armature current flows through the stator windings from OUT1 to OUT2 and induces the alternate stator electromagnetic poles accordingly. The magnetic force generated by rotor magnetic field and stator electromagnetic field causes the rotor to rotate. After the rotor signal reaches 180°, the Hall output voltage reverses due to its proximity to a South Pole. SW2 and SW3 then turn on with current reversing from OUT2 to OUT1, as shown in Figure 11(c) and (d). The opposite stator magnetic poles induce the rotor to continue rotating in the same direction.

홀 위치 센서 ("a")가 외부 고정자에 장착되어 자기장 강도에 비례하는 출력 전압을 유도합니다 (로터의 북극이 지나갈 때 센서가 HIGH가되고 로터의 남극이 지나갈 때 LOW가된다고 가정). 그림 11 (a), (b)에 나타난 바와 같이, 홀 센서 출력이 HIGH 일 때 SW1, SW4가 ON합니다. 이 단계에서, 전기자 전류는 OUT1에서 OUT2까지 고정자 권선을 통해 흐르고 그에 따라 대체 고정자 전자기장을 유도합니다. 로터 자기장 및 상태 전자계에 의해 생성되는 자기장은 로터를 회전시킵니다. 로터 신호가 180 °에 도달 하면 홀 출력 전압은 남극에 근접하므로 역전된다. SW2와 SW3은 그림 11 (c)와 (d)와 같이 OUT2에서 OUT1로 전류가 역전되면서 켜진다. 대향하는 고정자 자극은 로터가 동일한 방향으로 계속 회전하도록 유도한다.

Figure 12 shows an example of Hall sensor signals with respect to switch drive signals and armature current. The armature current exhibits a saw tooth waveform due to PWM control. The applied voltage, switching frequency, and the PWM duty cycle are three key parameters to determine the speed and the torque of the motor. The applied voltage, switching frequency, and the PWM duty cycle are three key parameters to determine the speed and the torque of the motor.

그림 12는 스위치 구동 신호 및 전기자 전류에 대한 홀 센서 신호의 예를 보여줍니다. 전기자 전류는 PWM 제어로 인해 톱니 파형을 나타냅니다. 적용 전압, 스위칭 주파수 및 PWM 듀티 사이클은 모터의 속도와 토크를 결정하는 3 가지 주요 파라미터입니다.

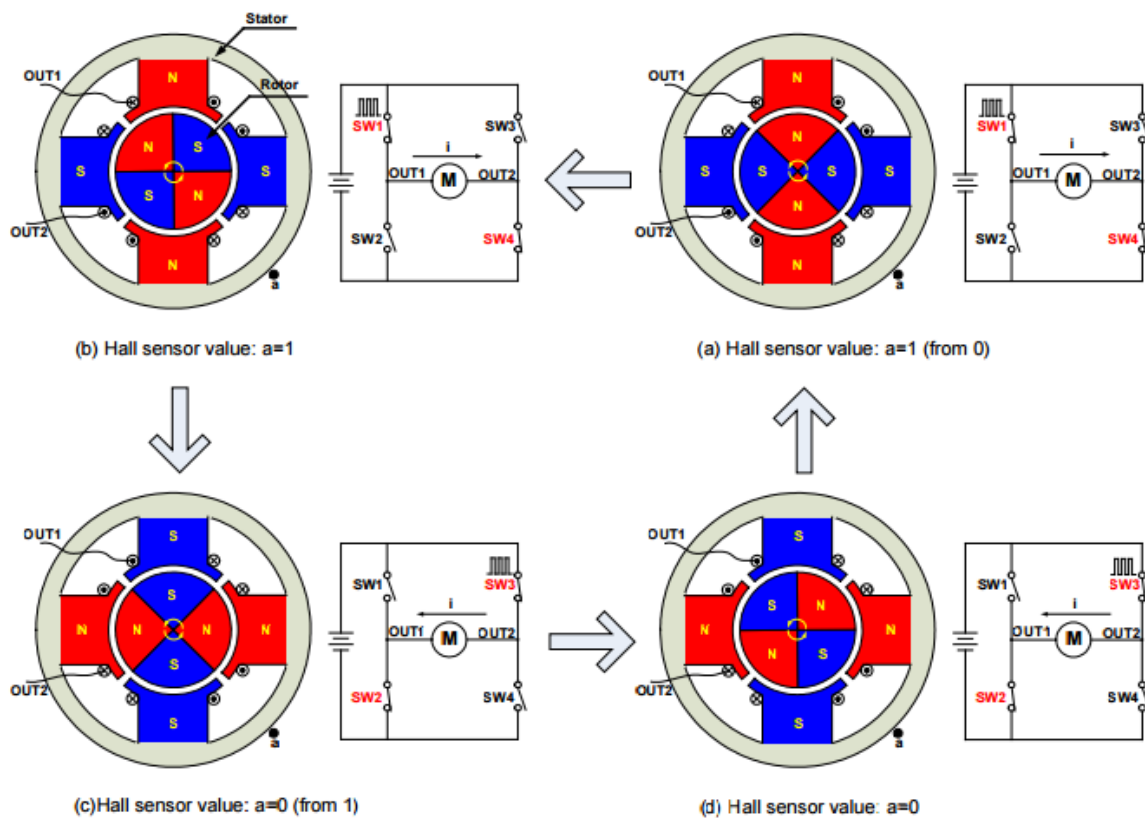


Figure 11—Single-Phase BLDC Motor Commutation Sequence

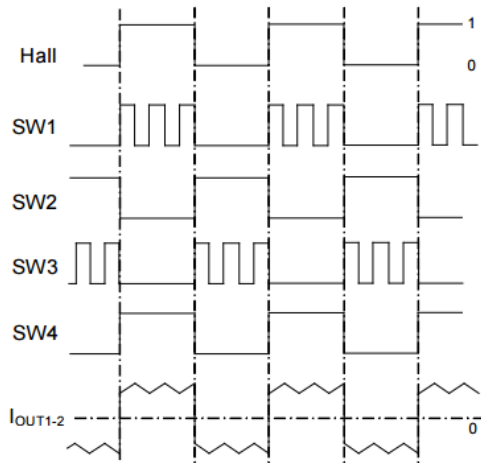


Figure 12—Single-Phase BLDC Motor Sensor versus Drive Timing

b. Three-Phase BLDC Motor (3상 BLDC모터)

A three-phase BLDC motor requires three Hall sensors to detect the rotor's position. Based on the physical position of the Hall sensors, there are two types of output: a 60° phase shift and a 120° phase shift. Combining these three Hall sensor signals can determine the exact commutation sequence.

삼상 BLDC 모터는 로터의 위치를 검출하기 위해 3 개의 홀 센서를 필요로합니다. 홀 센서의 물리적 위치에 따라 60 ° 위상 각 120 ° 위상 시프트의 2 가지 출력이 있습니다. 이러한 3 개의 홀 센서 신호를 결합하여 정확한 통신 순서를 결정할 수 있다.

Figure 13 shows the commutation sequence of a three-phase BLDC motor driver circuit for counterclockwise rotation. Three Hall sensors—"a," "b," and "c"—are mounted on the stator at 120° intervals, while the three phase windings are in a star formation. For every 60° rotation, one of the Hall sensors changes its state; it takes six steps to complete a whole electrical cycle. In synchronous mode, the phase current switching updates every 60°. For each step, there is one motor terminal driven high, another motor terminal driven low, with the third one left floating. Individual drive controls for the high and low drivers permit high drive, low drive, and floating drive at each motor terminal.

그림 13은 시계 반대 방향 회전을 위한 3 상 BLDC 모터 드라이버 회로의 정류 시퀀스를 보여준다. 3 개의 홀 센서 "a", "b", "c"는 120 ° 간격으로 상태에 장착되어 삼상 권선은 별 모양으로 되어 있다. 60 ° 회전 할 때마다 홀 센서 중 하나가 상태를 변경합니다. 전체 전기 사이클을 완료하는 데는 6 단계가 필요합니다. 동기식 모드에서 위상 전류 스위칭은 매 60 °마다 업데이트됩니다, 각 단계마다 하나의 모터 단자가 하이로 구동되고, 다른 모터 단자는 로우로 구동되고, 세 번째 모터 단자는 플로팅되어 있습니다. 높고 낮은 드라이버의 개별 드라이브 제어하여 각 모터 단자에서 높은 구동, 낮은 구동 및 부동 구동이 가능합니다

However, one signal cycle may not correspond to a complete mechanical revolution. The number of signal cycles to complete a mechanical rotation is determined by the number of rotor pole pairs. Every rotor pole pair requires one signal cycle in one mechanical rotation. So, the number of signal cycles is equal to the rotor pole pairs.

그러나 한 신호주기는 완전한 기계 공전에 해당하지 않을 수 있습니다. 기계적 회전을 완료시키기 위한 신호주기의 수는 회전자 극 쌍의 수에 의해 결정된다. 모든 회전자 자극 쌍은 1 회 기계 회전 하나의 신호주기를 필요로 한다. 따라서 신호주기의 수는 로터의 극 대와 같다.

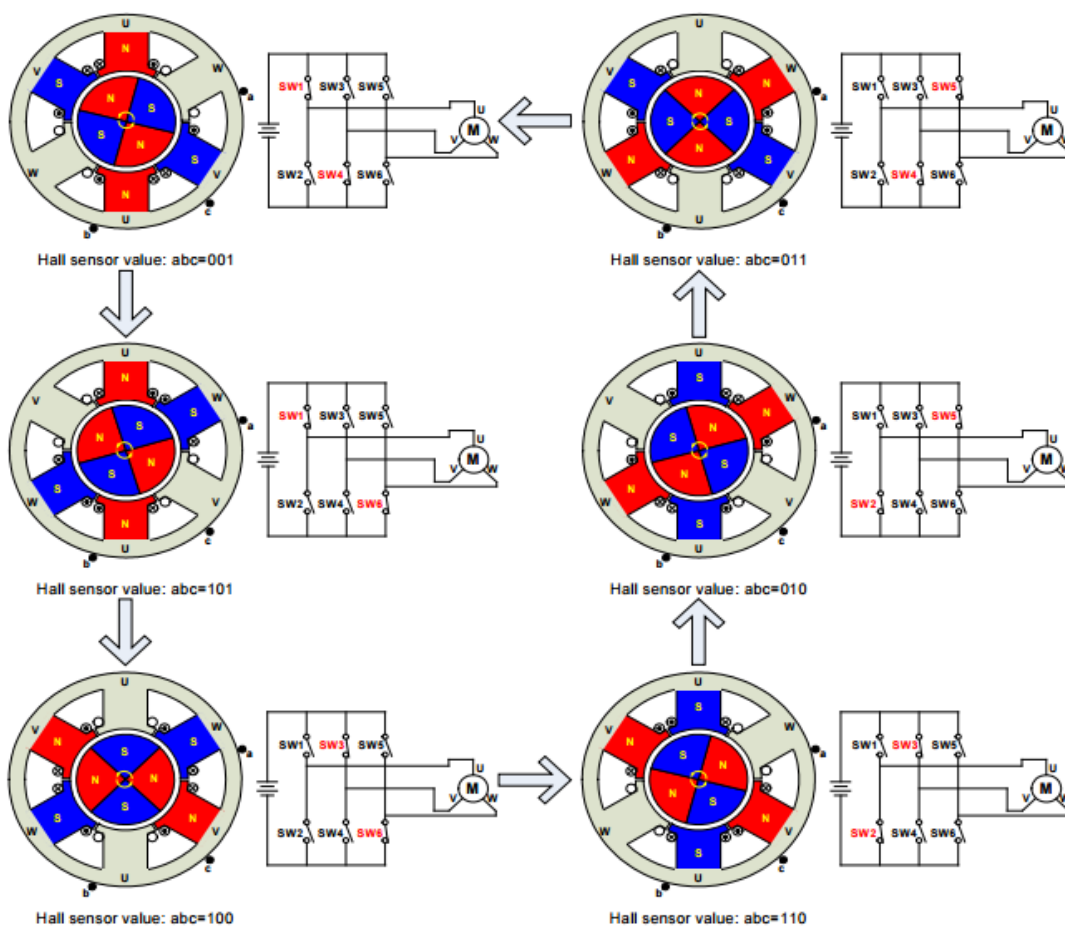


Figure 13—Three-Phase BLDC Motor Commutation Sequence

Figure 14 shows the timing diagrams where the phase windings—U, V, and W—are either energized or floated based on the Hall sensor signals a, b, and c. This is an example of Hall sensor signal having a 120° phase shift with respect to each other, where the motor rotates counter-clockwise. Producing a Hall signal with a 60° phase shift or rotating the motor clockwise requires a different timing sequence. To vary the rotation speed, use pulse width modulation signals on the switches at a much higher frequency than the motor rotation frequency. Generally, the PWM frequency should be at least 10 times higher than the maximum motor rotation frequency. Generally, the PWM frequency should be at least 10 times higher than the maximum motor rotation frequency. Another advantage of PWM is that if the DC bus voltage is much higher than the motor-rated voltage, so limiting the duty cycle of PWM to meet the motor rated voltage controls the motor.

그림 14는 위상 권선 -U, V 및 W가 통전되거나 홀 센서 신호 a, b 및 c에 기초하여 플로팅된다. 이것은 모터가 시계 반대 방향으로 회전하는 서로에 대해 120° 위상 시프트를 갖는 홀 센서 신호의 예이다. 60° 위상 변이로 홀 신호를 생성하거나 모터를 시계 방향으로 회전 시키려면 다른 타이밍 시퀀스가 필요합니다. 회전 속도를 변경하려면 모터 회전 주파수보다 훨씬 높은 주파수에서 스위치의 펄스 폭 변조 신호를 사용합니다. 일반적으로 PWM 주파수는 최대 모터 회전 주파수보다 10배 높아야 한다. PWM의 또 다른 장점은 DC 모션 전압이 모터 정격 전압보다 훨씬 높은 경우 모터의 정격 전압에 적합하도록 PWM 듀티 사이클을 제한함으로써

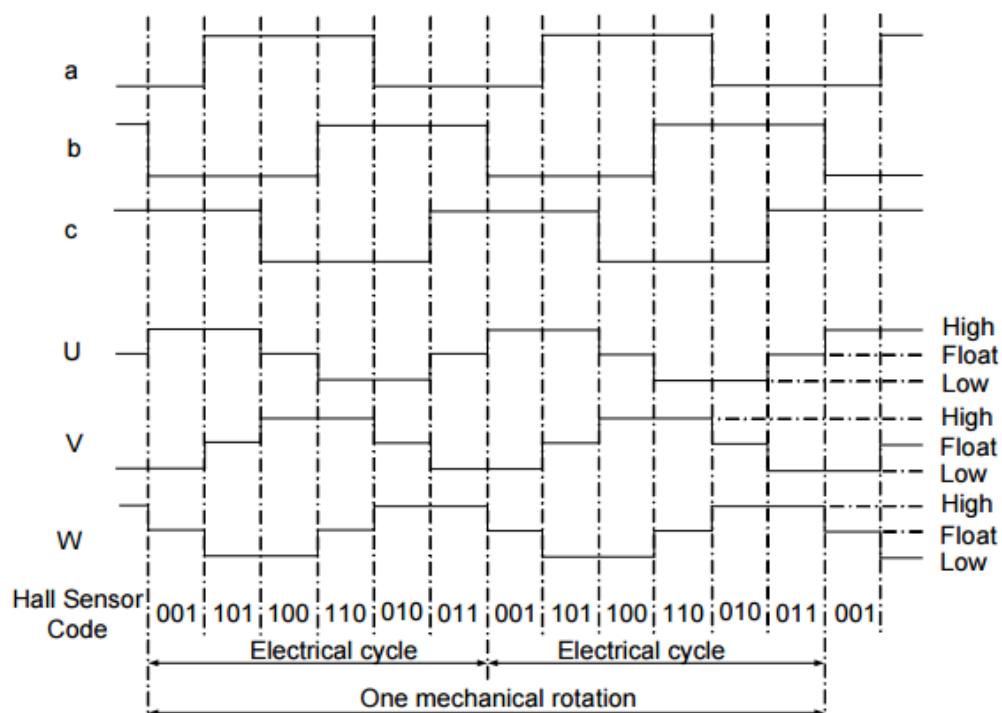


Figure 14—Three-phase BLDC motor sensor versus drive timing

모터가 제어되는 것입니다.

c. Sensorless BLDC Motor Control

However, sensors cannot be used in applications where the rotor is in a closed housing and requires minimal electrical entries, such as a compressor or applications where the motor is immersed in a liquid. Therefore, the BLDC sensorless driver monitors the BEMF signals instead of the position detected by Hall sensors to commutate the signal. The relationship between the sensors' output and the BEMF is shown in Figure 15. The sensor signal changes state when the voltage polarity of the BEMF crosses from positive to negative or from negative to positive. The BEMF zero-crossings provides precise position data for commutation

그러나 로터가 밀폐 된 하우징에 있고 모터가 액체에 잠기는 압축기 또는 어플리케이션과 같이 최소한의 전기 유입이 필요한 어플리케이션에는 센서를 사용할 수 없습니다. 따라서 BLDC 센서리스 드라이버는 홀 센서로 감지 된 위치 대신 BEMF 신호를 모니터링하여 신호를 정류합니다. 센서의 출력과 BEMF 사이의 관계는 그림 15에 나와 있습니다. 센서 신호는 BEMF 전압 극성이 양에서 음 또는 음에서 바로 교차 할 때 상태를 바꾼다. BEMF 제로 크로싱은 정류를 위한 정확한 위치 데이터를 제공합니다.

However, as BEMF is proportional to the speed of rotation, this implies that the motor requires a minimum speed for precise feedback. So under very low speed conditions—such as start-up—additional detectors—such as open loop or BEMF amplifiers—are required to control the motor (This is beyond the scope of this application note).

그러나 BEMF는 회전 속도에 비례하기 때문에 모터가 정확한 피드백을 위해 최소 속도를 필요로 함을 의미합니다. 따라서 시동과 같은 매우 낮은 속도 조건에서는 모터를 제어하기 위해 개방 루프 또는 BEMF 앰프와 같은 추가 감지기가 필요합니다 (이 내용은 이 응용 노트의 범위를 벗어납니다).

The sensorless commutation can simplify the motor structure and lower the motor cost. Applications in dusty or oily environments that require only occasional cleaning, or where the motor is generally inaccessible, benefit from sensorless commutation.

센서리스 정류는 모터 구조를 단순화하고 모터 비용을 낮출 수 있습니다. 먼지가 많거나 기름기가 많은 환경에서 가끔씩 청소가 필요한 곳이나 모터가 일반적으로 접근하기 어려운 곳에서는 센서리스 통신이 유용합니다.

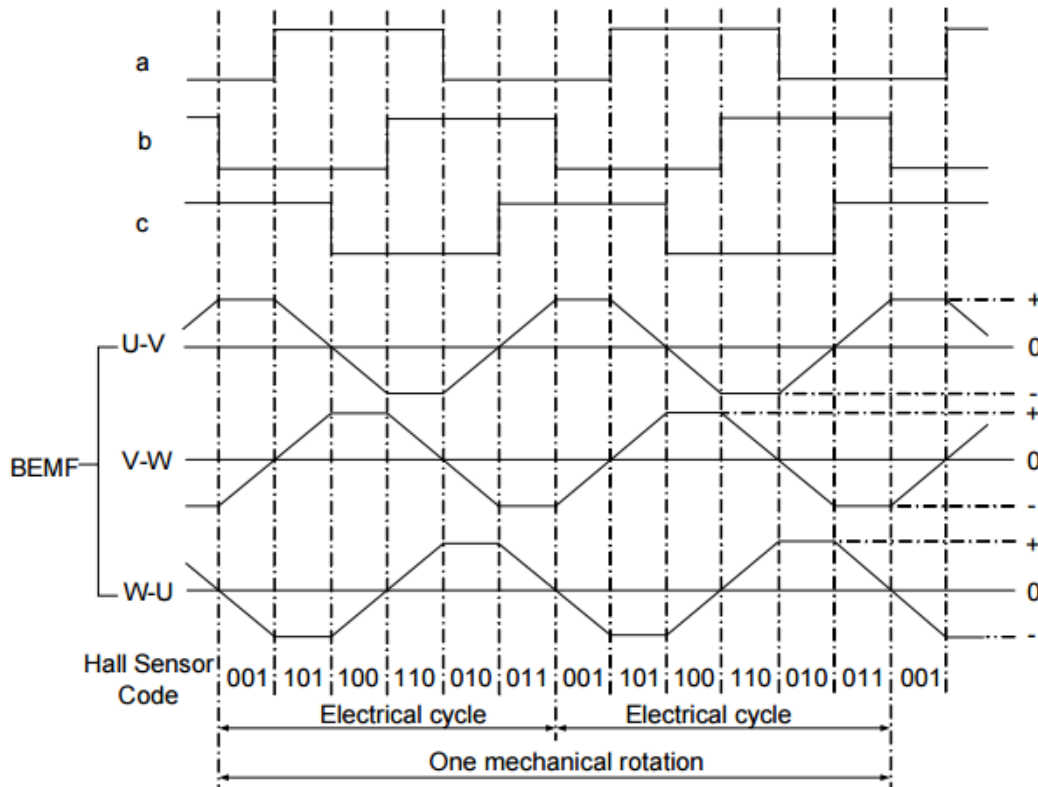


Figure 15—Hall Sensor versus BEMF

This application note introduces the motor fundamentals, with special attention to BLDC motors. As described in this document, a BLDC motor has many advantages over a brushed DC motor and an AC induction motor:: It is easily controlled with position feedback sensors and generally performs well, especially in speed/torque. With these advantages, BLDC motor will spread to more applications. Moreover, with the development of sensorless technology, BLDC motor will become convenient or indispensable in applications with environmental limitations.

이 애플리케이션 노트는 BLDC 모터에 특히주의하여 모터의 기본을 소개합니다. 이 문서에서 설명 된대로 BLDC 모터는 브러시형 DC모터 및 AC유도 모터보다 많은 장점이 있다. : 위치 피드백 센서로 쉽게 제어 할 수 있으며 일반적으로 특히 속도 / 토크 성능이 뛰어납니다. 이러한 장점으로 BLDC 모터는 더 많은 응용 분야로 보급 될 것입니다. 또한, 센서리스 기술의 발전으로 인해 BLDC 모터는 환경 적 제약이있는 어플리케이션에서 편리하거나 필수적으로 사용될 수 있습니다.