

ENDÜVİ ve STATOR SARIM TEKNİĞİ

M. Kemalettin TORAMAN

All Sciences Academy

ENDÜVİ ve STATOR SARIM TEKNİĞİ

Öğr. Gör. Dr. Muhammed Kemalettin TORAMAN[1]

1 Öğr. Gör Dr.; Yüzüncü Yıl Üniversitesi Başkale MYO Elektrik Bölümü kemalettin@yyu.edu.tr ORCID: 0000-0002-9641-5387

Endüvi ve Stator Sarim Tekniği
Öğr. Gör. Dr. Muhammed Kemalettin TORAMAN

Dizayn: All Sciences Academy Design
Basım Tarihi: Kasım 2025
Yayıncı Sertifika Numarası: 72273
ISBN: 978-625-8536-05-8
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.17728358

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com
allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

ÖNSÖZ 6

PREFACE 7

ÖZET 8

ABSTRACT 9

DC MOTORLARDA ENDÜKTÖR 10

DC MOTORLARDA ENDÜVİ 12

ENDÜVİ SARIMLARI 14

3.1 Endüvi Sarım Çeşitleri 15
3.1.1 Paralel (Lap) Sarım 15
3.1.2 Seri (Wave) Sarım 15

3.2 Fırça Konumunun Sarım Üzerindeki Etkisi 15

3.3 Sarım Adımına Göre Sınıflandırma 15

3.4 Endüvi Sarımlarının Sınıflandırılması: 16

BASİT PARALELE ENDÜVİ SARIMLARI 18

4.1 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Kutup Ekseninde 18
4.1.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 18
4.1.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 21
4.1.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 23
4.1.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 27

4.2 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Kutup Ekseninde 29
4.2.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 29
4.2.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 32
4.2.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 34
4.2.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 37

4.3 Bobin Yanı u=3, Fırçalar Kutup Ekseninde 39
4.3.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 39
4.3.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 42
4.3.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 44
4.3.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 47

4.4 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Nötr ekseninde 49
4.4.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 49
4.4.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 53
4.4.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 55
4.4.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1) 58

4.5 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Nötr ekseninde 60
4.5.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 60
4.5.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 62

4.6. Ölü Bobin Bulunan Endüvi Sarımları (Bobin Yanı u=2) 64
4.6.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 64
4.6.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1) 66

ÇOKLU PARALELE ENDÜVİ SARIMLARI (M=2,3,4) 68

5.1. Sarımın Yapım Şekli 68

5.2 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Kutup Ekseninde 70
5.2.1 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2) 70
5.2.2 Çoklu İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2) 71
5.2.3 Çoklu Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-2) 72
5.2.4 Çoklu Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-2) 73
5.2.5 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+3) 74
5.2.6 Çoklu Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-3) 75

5.3 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Kutup Ekseninde 76
5.3.1 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2) 76
5.3.2 Çoklu İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2) 77

SERİ ENDÜVİ SARIMLARI 78

6.1 Basit Seri Endüvi Sarımı 81

6.2 Çoklu Seri Endüvi Sarımı 87

SARGILARIN OYUKLARA YERLEŞME ÖZELLİKLERİ 89

7.1 Sarımın Endüviye Sarılış Tipleri 89
7.1.1 Klasik Tip 89
7.1.2 V Tipi 89
7.1.3 H Tipi 89
7.1.4 Yıldız Tip 90
7.1.5 Sepet (Çift Yıldız) Tip 90
7.1.6 Mekik Tip 91

STATOR SARIMLARI 92

8.1 El Tipi Stator Sarımı 94
8.2.1 Dengeli El Tipi Sarım 2 Kutuplu (2P=2) 96
8.2.2 Dengeli El Tipi Sarım 2 Kutuplu (2P=4) 102
8.2.3 Dengeli El Tipi Sarım 6-8 Kutuplu (2P=6-8) 106
8.2.4 Stator sarımının yapım aşamaları 108

8.2 Yarım Kalıp Stator Sarımı 111
8.2.1 Toplu Yarım Kalıp Sargılar 112
8.2.2 Dağıtılmış Yarım Kalıp Sargılar 113

8.3 Tam Kalıp Sarım 122
8.3.1 Tam Kalıp Sarımının Yapım Aşamaları 131
8.3.2 Bobin Gruplarının Stator Dışında Paralel Bağlanması 131

SONUÇ 134

REFERANSLAR 135

ÖNSÖZ

Bu kitap, elektrik makinelerinde kullanılan endüvi ve stator sarımlarının temel ilkelerini, uygulama tekniklerini ve endüstride karşılaşılan farklı sarım türlerini bütüncül bir yaklaşımla ele almak amacıyla hazırlanmıştır. Sarım tekniği, elektrik makinalarının performansını, verimliliğini ve elektromanyetik davranışını doğrudan etkileyen kritik bir çalışma alanıdır. Bu nedenle kitapta hem eğitim kurumlarında hem de endüstriyel uygulamalarda ihtiyaç duyulan teori ve pratik bilgiler titizlikle derlenmiştir.

Sarım teknikleri alanında çalışan teknisyenler, mühendisler ve öğrenciler için kapsamlı bir kaynak sunmayı hedefleyen bu eserde; paralel ve seri endüvi sarımlarından stator sarım türlerine, sarım adımlarından bobin dağılımlarına kadar geniş bir konu yelpazesi ayrıntılı şekilde işlenmiştir. Konular ele alınırken bilimsel kaynaklardan yararlanılmış, hesap yöntemleri ve yapısal özellikler güncel teknoloji ve üretim standartları doğrultusunda açıklanmıştır.

Elektrik makinalarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmakta ve buna paralel olarak sarım teknikleri de gelişen malzeme teknolojileri, üretim yöntemleri ve tasarım yaklaşımları ile değişim göstermektedir. Bu kitap hem geleneksel yöntemleri hem de modern uygulamaları bir araya getirerek okuyucuya geçmişten günümüze kapsamlı bir perspektif sunmaktadır.

Eserde yer alan bölümler, konuların anlaşılmasını kolaylaştırmak için açık ve sistematik bir biçimde düzenlenmiş; gerekli yerlerde diyagramlar, görseller ve açıklayıcı notlarla desteklenmiştir. Kitabı inceleyen okuyucular, sarım tekniklerinin temel prensiplerinden pratik uygulama örneklerine kadar geniş bir çerçevede bilgi edinme fırsatı bulacaktır.

Bu çalışmanın, sarım teknikleri konusunda öğrenmek, kendini geliştirmek veya profesyonel bilgi dağarcığını genişletmek isteyen tüm okurlar için değerli bir başvuru kaynağı olmasını diliyorum.

Muhammed Kemalettin TORAMAN

PREFACE

This book has been prepared to present a comprehensive approach to the fundamental principles, application techniques, and various industrial winding types used in electrical machines. Winding technology is a critical field of study that directly influences the performance, efficiency, and electromagnetic behavior of electrical machines. For this reason, both theoretical and practical information needed in educational settings as well as industrial applications has been carefully compiled throughout the book.

Aiming to serve as an extensive resource for technicians, engineers, and students working in the field of winding techniques, this work thoroughly covers a wide range of topics from parallel and series armature windings to stator winding types, from winding pitches to coil distributions. Scientific literature has been utilized in presenting these subjects, and the explanations on calculation methods and structural characteristics have been aligned with current technological advancements and production standards.

The demand for electrical machines continues to grow each day, and accordingly, winding techniques evolve with advances in material technology, manufacturing methods, and design approaches. This book brings together both traditional methods and modern applications, offering readers a comprehensive perspective from past to present.

The chapters have been organized clearly and systematically to facilitate understanding, and where necessary, diagrams, visuals, and explanatory notes have been included to support the content. Readers examining this book will have the opportunity to acquire knowledge across a broad framework, from the fundamental principles of winding techniques to practical application examples.

I sincerely hope that this work becomes a valuable reference for all readers who wish to learn, improve themselves, or expand their professional knowledge in the field of winding techniques.

Muhammed Kemalettin TORAMAN

ÖZET

Bu kitap, elektrik makinelerinde kullanılan endüvi ve stator sarımlarının temel prensiplerini, sınıflandırmalarını ve uygulama yöntemlerini kapsamlı bir çerçevede ele almaktadır. Sarım tekniği, elektrik makinelerinin elektromanyetik performansını, tork üretimini, verimliliğini ve çalışma karakteristiklerini doğrudan etkileyen kritik bir tasarım alanıdır. Bu kapsamda kitapta; paralel ve seri endüvi sarımları, adım türleri, fırça konumuna göre sarım düzenleri, stator sarım tipleri ve yarım/tam kalıp uygulamaları ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır. Konular aktarılırken hem kuramsal yapı hem de endüstriyel uygulamalar göz önünde bulundurulmuş; sarım şemaları, bobin dağılımları ve temel hesaplamalar sistematik bir yaklaşımla sunulmuştur. Gelişen malzeme teknolojileri, üretim yöntemleri ve modern makina tasarım yaklaşımları doğrultusunda sarım tekniklerindeki yeniliklere de yer verilmiştir. Bu eser, sarım alanında çalışan teknisyenler, mühendisler, akademisyenler ve öğrenciler için güvenilir, güncel ve kapsamlı bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sarım tekniği, seri endüvi sarımı, paralel endüvi sarımı, el tipi stator sarımı, yarım ve tam kalıp stator sarımı

ABSTRACT

This book addresses, within a comprehensive framework, the fundamental principles, classifications, and application methods of armature and stator windings used in electrical machines. Winding technology is a critical design field that directly affects the electromagnetic performance, torque production, efficiency, and operating characteristics of electrical machines. In this context, the book explains in detail parallel and series armature windings, types of winding pitch, winding arrangements according to brush position, stator winding types, and half- / full-form coil applications. In presenting these topics, both theoretical foundations and industrial practices are taken into account, and winding diagrams, coil distributions, and basic calculations are introduced through a systematic approach. Innovations in winding techniques, in line with advances in material technologies, manufacturing methods, and modern machine design approaches, are also included. This work constitutes a reliable, up-to-date, and comprehensive reference for technicians, engineers, academics, and students working in the field of winding technology.

Keywords – Winding technique, series armature winding, parallel armature winding, hand-wound stator winding, half-form stator winding, full-form stator winding

DC MOTORLARDA ENDÜKTÖR

DC motorlarda endüktör, makinenin stator kısmında yer alan ve rotor üzerinde tork oluşmasını sağlayan ana manyetik alanı üreten sargı sistemidir. Endüktör, genellikle yumuşak manyetik çelikten yapılmış kutup gövdeleri üzerine sarılmış bakır bobinlerden oluşur. Bu bobinlerden akım geçtiğinde kutuplar arasında bir sabit manyetik alan meydana gelir; rotor üzerindeki iletkenlerde indüklenen gerilim ve buna bağlı Lorentz kuvveti bu alanın içinde oluşur. Böylece rotor dönme momenti üretir (Chapman, 2012: 191).

DC motorlardaki endüktör, yapısal olarak seri uyartımlı, şönt uyartımlı, kompound veya kalıcı mıknatıslı biçimlerde düzenlenebilir. Endüktörün hangi yapıda seçileceği, motorun hız–tork karakteristiğini belirler. Örneğin seri uyartımlı endüktörlerde alan akısı ile endüvi akımı aynı devrede bulunduğundan, yüksek kalkınma momenti elde edilir (Fitzgerald, Kingsley ve Umans, 2003: 282–283). Buna karşılık şönt uyartımlı motorlarda alan sargısı ince telli ve çok spirli olup endüvi akımından bağımsız çalışır; bu tasarım motorun hızını daha kararlı hâle getirir (Say, 2005: 91).

Endüktör bobinleri elektromanyetik indüksiyonun temel ilkelerine göre çalışır. Bobinden geçen akım değiştiğinde kutuplar üzerindeki manyetik akı da değişir ve buna bağlı olarak rotor iletkenlerinde ters yönde bir indüklenen gerilim oluşur. Bu gerilim, Lenz kanunu gereği akımdaki değişime karşı koyar ve motorun dinamik davranışlarını etkiler (Toliyat ve Kliman, 2004: 37). Manyetik devrenin yapısı, kutup şekli ve hava aralığı, endüktörün üreteceği akının yoğunluğunu belirleyen temel parametrelerdir.



Şekil 0.1 Endüktör

Endüktörün etkili çalışabilmesi için kutup üzerindeki sargı sayısı, iletken kesiti, izolasyon sınıfı ve nüve malzemesinin manyetik geçirgenliği tasarım açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek manyetik akı gerektiren DC motorlarda çoğunlukla düşük relüktanslı, laminasyonlu çelik nüveler kullanılır; bu sayede hem manyetik kayıplar azaltılır hem de akı yoğunluğu artırılır (Pyrhönen, Hrabovcová ve Scott, 2016: 241–242).

DC motorlarda endüktör, motorun elektromanyetik yapısını belirleyen ve tork üretim sürecinin temelini oluşturan asli bileşendir. Alan akısının kararlı veya değişken yapıda olması, motorun uygulama alanına göre farklı türde endüktör tasarımlarının kullanılmasına yol açmaktadır.

Kutup sargıları, endüvi devresine bağlanma biçimlerine göre seri ve paralel (şönt) olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Seri kutup sargıları, büyük akım taşımak üzere tasarlandığından kalın kesitli iletkenlerle ve az sarım sayısı ile gerçekleştirilir. Bu sargılar, endüvi devresine doğrudan seri bağlanır ve dış devreden geçen akımın tamamı bu sargılar üzerinden akar. Yüksek akımlı çalışmaya uygun olmaları nedeniyle iletken kesitleri büyüktür; ayrıca sargı üzerindeki gerilim düşümünü en aza indirmek amacıyla sarım sayısı düşük tutulur. Üniversal motorlarda kutup sargısı yalnızca seri yapıdadır; ancak motorun görece düşük güç gereksinimi nedeniyle bu seri sargılar, klasik doğru akım makinelerindeki kadar kalın kesitli iletkenlerle sarılmayabilir. Buna karşılık paralel (şönt) kutup sargıları, manyetik alanı kararlı bir şekilde oluşturmak amacıyla ince kesitli iletkenlerle ve yüksek sarım sayısı ile sarılır. Bu sargılar endüvi devresine paralel bağlanır ve üzerinden, endüvi akımının yaklaşık %1–5'i mertebesinde, oldukça küçük bir akım geçer. Bu düşük akım sebebiyle iletken kesitinin büyük olması gerekmez; buna karşın manyetik akıyı yeterli düzeye çıkarmak için sarım sayısının fazla olması gerekmektedir (MEB, 2011:5).

Bu yapısal farklılıklar, seri ve şönt sargıların manyetik alan oluşturma karakteristiklerini belirleyerek, motorun tork-hız davranışını ve yük altındaki performansını doğrudan etkiler.

DC MOTORLARDA ENDÜVİ

DC motorlarda endüvi, elektriksel enerjinin mekanik enerjiye dönüştürüldüğü ana bileşendir. Motorun dönen kısmında yer alan endüvi; oluklu bir nüve, bu oluklara yerleştirilmiş sarımlar ve rotorla bağlantılı komütatör dilimlerinden oluşur. Endüvinin temel görevi, sabit stator manyetik alanı içerisinde dönebilecek biçimde düzenlenmiş iletkenlerde indüklenen gerilimi ve taşıdığı akımı kullanarak elektromanyetik moment üretmektir (Chapman, 2012: 188).

Endüvi yapısının merkezinde lamine edilmiş çelik nüve bulunur. Lamellerin ince tabakalar hâlinde olması, girdap akımı kayıplarını azaltır ve motorun verimini artırır. Oluklar içine yerleştirilen endüvi sargıları ise genellikle bakır iletkenden yapılır ve komütatöre bağlanmıştır. Komütatör, endüvi akımının yönünü rotor döndükçe mekanik olarak ters çevirerek motorun sürekli dönmesini sağlar (Say, 2005: 89).

Endüvi tasarımında dikkate alınan başlıca parametreler şunlardır: oluk sayısı, sarım tipi (seri veya paralel), bobin hatvesi, iletken kesiti, soğutma yapısı ve komütatör segment sayısı. Bu parametreler, motorun hız–tork karakteristiğini ve çalışma verimini doğrudan belirler (Toliyat ve Kliman, 2004: 40).

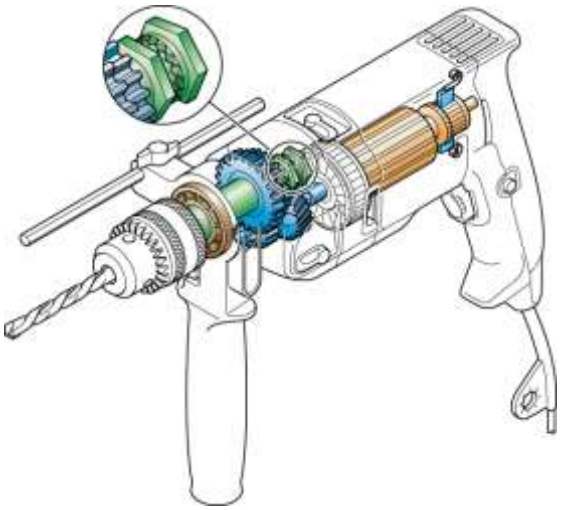


Şekil 0.1 Endüvi ve kollektör

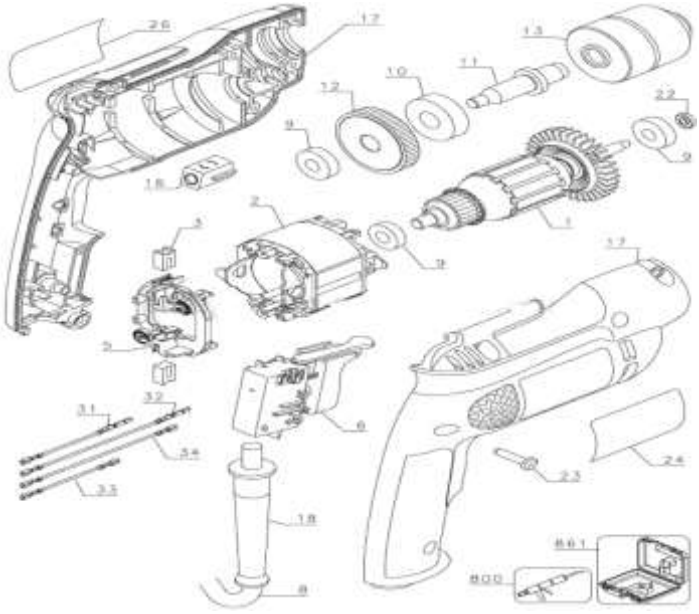


Şekil 0.2 Bir DC motorun yapısı

Endüvi, DC motorun elektromekanik dönüşüm sürecinin merkezinde yer alan kritik bir bileşendir. Yapısı, sarım düzeni ve komütasyon mekanizması motorun performansını, verimliliğini ve çalışma karakteristiğini doğrudan etkiler.



Şekil 0.3 bir matkabın iç yapısı



Şekil 0.4 Bir matkabın patlamış montaj görünüşü

ENDÜVİ SARIMLARI

DA makinasının dönen kısmına endüvi adı verilir. Endüvi; kollektör, demir nüve ve sargılardan oluşan bir yapıdır. Genellikle bir mil (şaft) üzerine yerleştirilir ve alan kutupları arasında dönerek elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümünü sağlar. Endüvi nüvesi, ince demir sac levhaların paketlenip silindirik bir gövde hâline getirilmesi ve bu gövde üzerine oyuklar açılmasıyla elde edilir. Sac levhalar, aralarında ince bir yalıtkan film tabakası olacak şekilde yalıtılır; böylece levhalar arasındaki elektriksel temas engellenir ve bu sayede girdap akımı (eddy current) kayıpları önemli ölçüde azaltılır. Endüvi iletkenleri, makinanın yük akımını taşıyan iletkenlerdir ve demir nüve üzerindeki oyuklara yerleştirilir. Bu iletkenler, nüveye karşı kâğıt, mika vb. yalıtkan malzemelerle yalıtılır. Eğer endüvi akımı yaklaşık 10 A'in altında ise genellikle yuvarlak kesitli iletkenler, akım 20 A'i aştığında ise dikdörtgen (lama) kesitli iletkenler tercih edilir. Dikdörtgen kesitli iletkenlerin kullanılmasının temel nedeni, oyuk hacminden daha iyi yararlanmayı ve böylece daha fazla bakırın, dolayısıyla daha yüksek akım kapasitesinin, aynı hacim içerisinde yerleştirilebilmesini sağlamasıdır (Bal, 2008: 237).

DC makinelerinde endüvi sarımları, motorun veya jeneratörün elektromanyetik davranışını belirleyen en kritik yapısal unsurlardan biridir. Endüvi sarımı, rotor üzerindeki oluklara yerleştirilmiş bobinlerin komütatör segmentlerine bağlanmasıyla oluşturulur ve makinenin gerilim üretme, tork oluşturma, akım kapasitesi ve komütasyon kalitesini doğrudan etkiler (Chapman, 2012: 188).

Endüvi sarımının temel amacı, stator manyetik alanı içinde optimum şekilde konumlandırılmış iletkenlerle:

- Uygun seviyede indüklenen gerilim üretmek,
- Yeterli tork oluşturmak,
- Akım dağılımını düzenlemek,
- Komütasyonun düzgün gerçekleşmesini sağlamak,
- Manyetik alanın simetrisini korumak

olarak özetlenebilir (Fitzgerald, Kingsley, ve Umans, 2003: 278-282).

Endüvi, ince lamellerden oluşan bir demir nüve üzerine açılmış oluklara yerleştirilen sargı gruplarından oluşur. Bu oluklar içindeki iletkenler, komütatör dilimlerine bağlanarak motorun dönüşü sırasında akım yönünün mekanik olarak ters çevrilmesini sağlar (Say, 2005: 89). Sarım telleri genellikle emaye yalıtımlı bakırdır ve sargılar mekanik dayanım için presbant, cam elyaf veya vernikle güçlendirilir.

3.1 Endüvi Sarım Çeşitleri

3.1.1 Paralel (Lap) Sarım

Paralel sarımlarda endüvi, p kutuplu makinelerde p paralel akım yolu oluşturacak biçimde sarılır. Bu nedenle düşük gerilim–yüksek akım karakteristiği elde edilir.
Özellikleri:

- Çok sayıda paralel yol olduğundan yüksek akım kapasitesi
- Düşük gerilimli makinelerde tercih edilir
- Komütasyon dengelidir
- Teller daha kalın seçilebilir

Basit paralel sarımda m = ±1, çoklu paralel sarımda m = ±2, ±3, … alınır. Burada m, bobinin kolektör dilimleri üzerindeki adım katsayısını ifade eder.

3.1.2 Seri (Wave) Sarım

Seri sarımlarda endüvi, genellikle yalnızca iki paralel yol içeren bir yapıdadır. Akım tüm bobinlerden seri geçiyormuş gibi davranır, bu nedenle yüksek gerilim–düşük akım karakteristiği elde edilir.
Özellikleri:

- Yüksek gerilim elde edilir
- Akım yolu az sayıda olduğu için akım kapasitesi sınırlıdır
- Küçük ve orta güçlü cihazlarda yaygındır
- Komütasyon hassastır

Basit seri sarımda m = ±1, çoklu seri sarım m = ±2, ±3, … alınır. Seri sarımlar, endüvi sargısının makinenin çevresini dalga benzeri bir formda dolaşması nedeniyle wave winding olarak adlandırılır.

3.2 Fırça Konumunun Sarım Üzerindeki Etkisi

Fırçaların nötr eksene konulması, komütasyonun düzgünleşmesini sağlar. Kutup eksenine yakın yerleştirilmesi, komütasyon sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle doğru sarım tipi ile doğru fırça konumu birlikte seçilmelidir.

3.3 Sarım Adımına Göre Sınıflandırma

Endüvi sarımları, bobin kolunun iki kenarı arasındaki oluk sayısına göre: İlerleyen adımlı (progressive), gerileyen adımlı (retrogressive) olarak sınıflandırılır. m pozitifse ilerleyen, negatifse gerileyen sarım oluşur. Endüvi sarım tasarımı, bir DC makinenin elektromanyetik karakteristiğini belirleyen en kritik tasarım aşamalarından biridir.

3.4 Endüvi Sarımlarının Sınıflandırılması:

1. Paralel Sarım
    - A. Basit
        - A.1 İlerleyen adımlı (m=+1)
        - A.2 Gerileyen adımlı (m=-1)
    - B. Çoklu
        - B.1 İlerleyen adımlı (m=+2, +3, ..)
        - B.2 Gerileyen adımlı (m=-2, -3, …)
2. Seri Sarım
    - A. Basit
        - A.1 İlerleyen adımlı (m=+1)
        - A.1 Gerileyen adımlı (m=-1)
    - B. Çoklu
        - B.1 İlerleyen adımlı (m=+2, +3, ..)
        - B.2 Gerileyen adımlı (m=-2, -3, …)
3. Fırça durumuna göre sarım çeşitleri:
    - A. Fırçalar nötr ekseninde
    - B. Fırçalar kutup ekseninde
4. Açılım yönüne göre sarım çeşitleri
    - A. Sağa açılımlı
    - B. Sola açılımlı

Olarak sınıflandırılır.

m= +1 basit ilerleyen sarım,
m= +2,+3, … çoklu ilerleyen sarım,
m= -1 basit gerileyen sarım,
m= -2, -3, …. çoklu gerileyen sarım.

x : Endüvideki oyuk (oluk) sayısı
K : Kolektörün dilim sayısı
2P : Tek kutup sayısı
P : Çift kutup sayısı
m : Çokluk katsayısı (bobin giriş ve çıkış uçlarının yatırıldığı kolektör dilimleri arasındaki mika sayısı)
Yx : Oyuk adımı
Yf : Fırça adımı
Yk : Kolektör adımı
2a : Paralel kol sayısı
q : Oyuk adımının tamsayı çıkması için kullanılan katsayı
u : Bir oyuktaki bobin giriş (ya da çıkış) kenarı sayısı

Oyuk adımı (Yx): Bobin kenarlarının endüvi oyuklarının hangilerine yerleştirileceğini belirtir. Bazı endüvi hesaplamalarında oyuk adımı tamsayı

çıkmayabilir. Bu durumda "q" katsayısı kullanılarak oyuk adımının tam sayı çıkması sağlanabilir. Normal adımdan uzun olarak sarılan bobinlere uzun adımlı sarım denir. Normal adımdan kısa olarak sarılan bobinlere kısa adımlı sarım denir (Özdemir, 2005: 10).

$$Y_k = \frac{x}{2P} \qquad Y_k = \frac{x+q}{2P} \qquad Y_k = \frac{x-q}{2P}$$

Fırça adımı (Yf): Kolektör dilimleri üzerine basan pozitif ve negatif kutuplu fırçalar arasındaki kolektör dilimi sayısını belirtir.

$$Y_f = \frac{K}{2P} - Y_k \qquad Y_f = \frac{K - 2P.m}{2P}$$

Paralel kol sayısı (2a): Bobinler birbirine paralel bağlanacak kol sayısı. 2a=2P.m denklemiyle hesaplanır.

Çokluk katsayısı (m) ve kolektör adımı (Yk): Kolektör dilimleri arasındaki mika sayısına kolektör adımı (Yk) denir. Paralel endüvi sarımlarında kolektör adımı (Yk), çokluk katsayısına (m) eşit olmaktadır.

Oyuktaki bobin kenarı sayısı (u): Bir oyukta bulunan bobin kenarı sayısı.

$$u = \frac{K}{x}$$

Formülü ile hesaplanır. Bir oyuktaki bobin giriş ve çıkış kenarları toplamı ise büyük "U" ile gösterilir ve U = 2.u denklemiyle hesaplanır.

BASİT PARALELE ENDÜVİ SARIMLARI

4.1 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Kutup Ekseninde

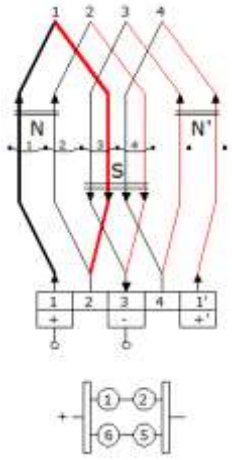
4.1.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

Örnek 1. x=4, K=4, 2P=2, m= +1 olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{x}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) \qquad Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{4}{2} - 1 = 12$$

$$a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{4}{4} = 1$$



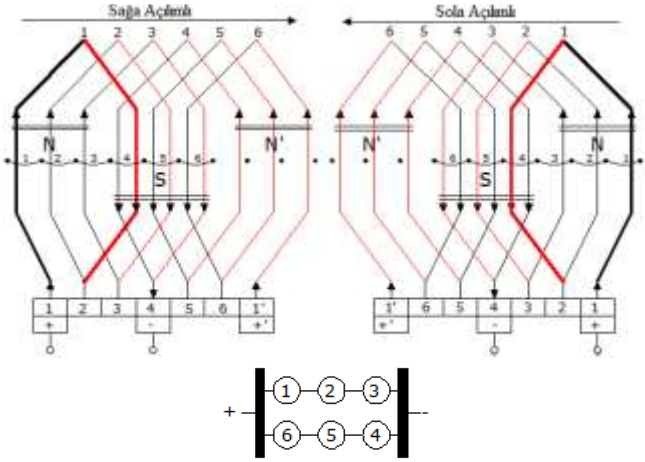
Şekil 0.1 x=4, K=4, 2P=2, m= +1 endüvi sarımı

Örnek 2. **x=6, K=6, 2P=2, m= +1** olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4)\ Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{6}{2} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2\ \ u = \frac{K}{X} = \frac{6}{6} = 1$$



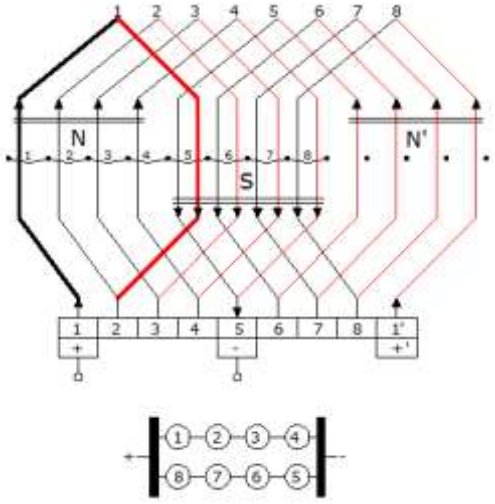
Şekil 0.2 x=6, K=6, 2P=2, m= +1 endüvi sarımı

Örnek 3. **x=8, K=8, 2P=2, m= +1** olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5) Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.3 x=8, K=8, 2P=2, m= +1 endüvi sarımı

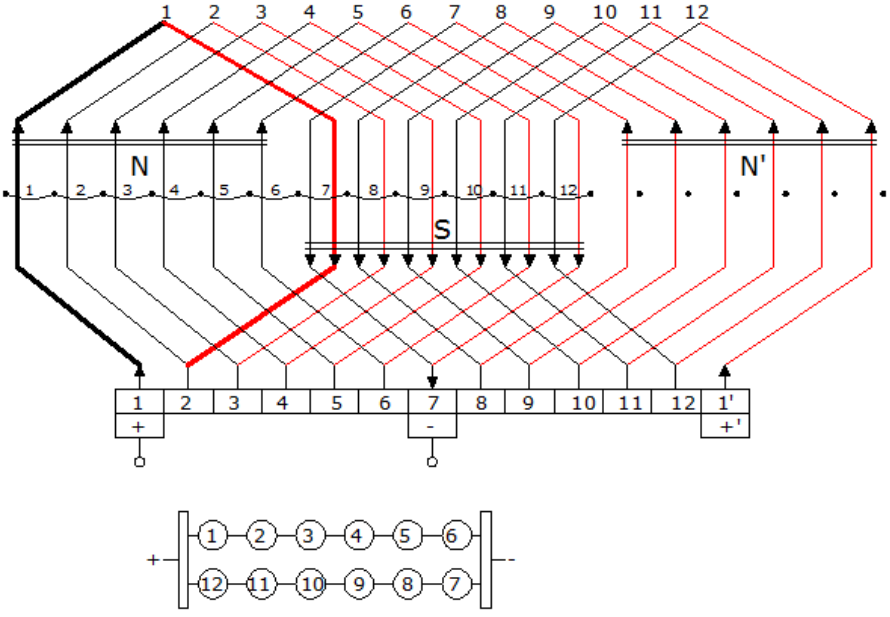
Örnek 4. x=12, K=12, 2P=2, m= +1 olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.4 x=12, K=12, 2P=2, m= +1 endüvi sarımı

4.1.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

4 kutuplu endüvi sarımlarında, Yf nin tamsayı çıkması için, kollektör (K) sayısının 4'den büyük ve katları olması gerekir.

Örnek 5. x=4, K=4, 2P=4, m= +1 (sarım uygulanamaz)

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{4}{4} - 1 = \mathbf{0} \text{ olduğundan sarım uygulanamaz}$$

Örnek 6. x=6, K=6, 2P=4, m= +1 (sarım uygulanamaz)

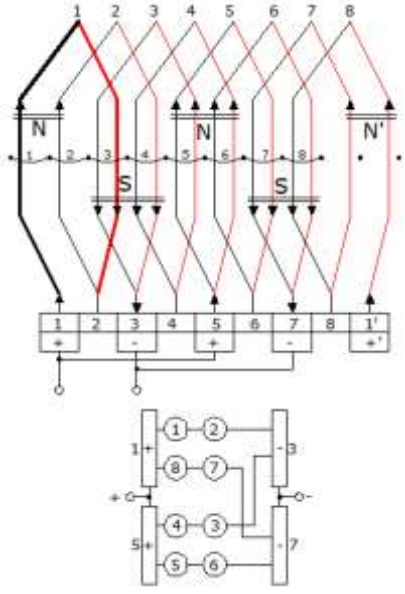
$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{6}{4} - 1 = \mathbf{0,5} \text{ olduğundan sarım uygulanamaz}$$

Örnek 7. x= 8, K= 8, 2P= 4, m= +1 olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) \;\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.5 x= 8, K= 8, 2P= 4, m= +1

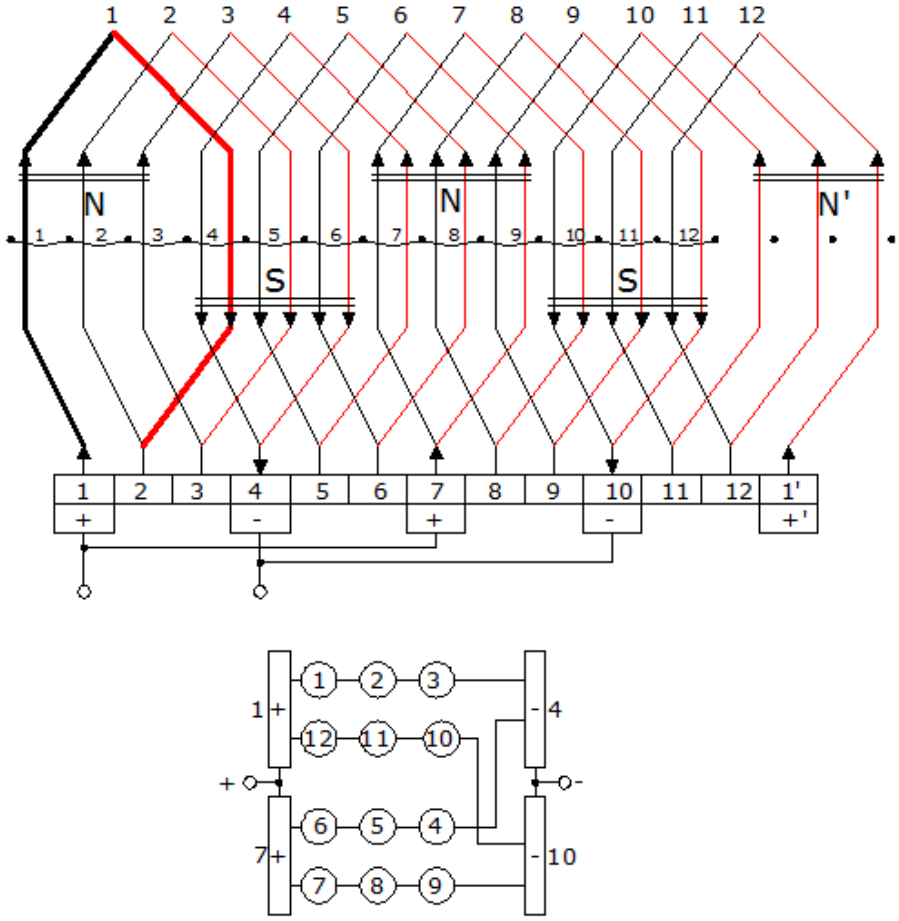
Örnek 8. x=12, K=12, 2P=4, m= +1 olan paralel, basit, ilerleyen endüvi sarımı

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4) \quad Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.6 x=12, K=12, 2P=2, m= +1

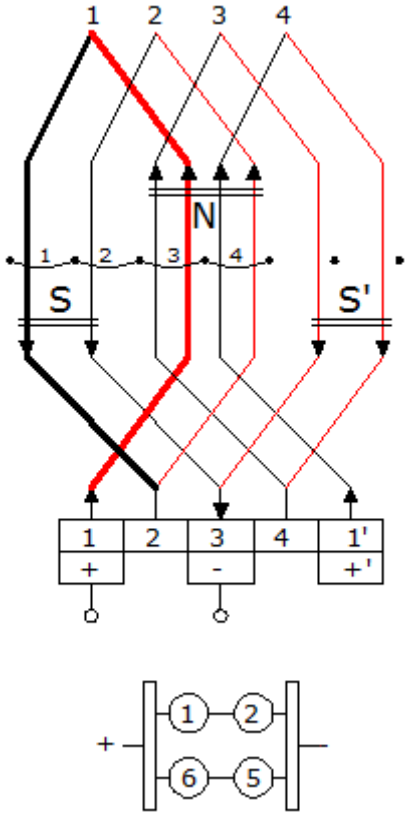
4.1.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

Örnek 9. x=4, K=4, 2P=2, m= -1
a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{4}{2} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{4}{4} = 1$$



Şekil 0.7 x=4, K=4, 2P=2, m= -1

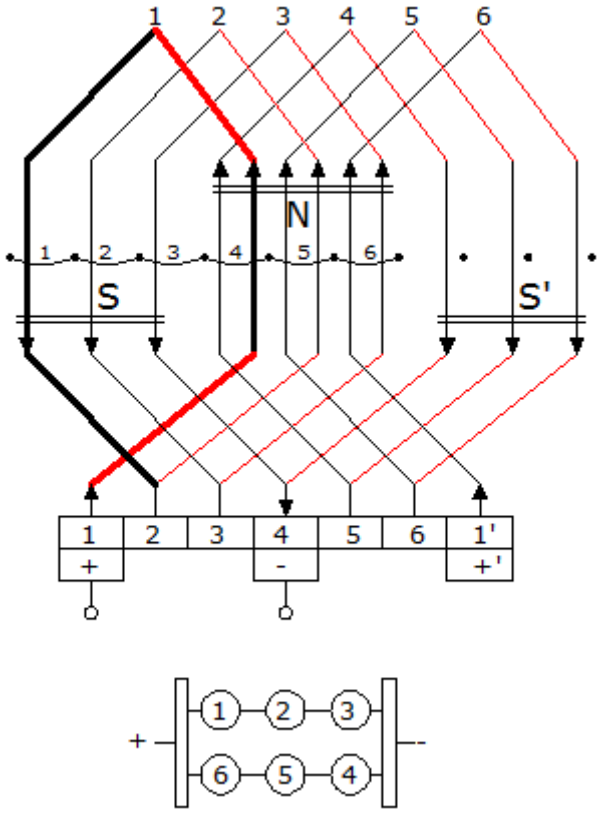
Örnek 10. x=6, K=6, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{6}{2} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{6}{6} = 1$$



Şekil 0.8 x=6, K=6, 2P=2, m= -1

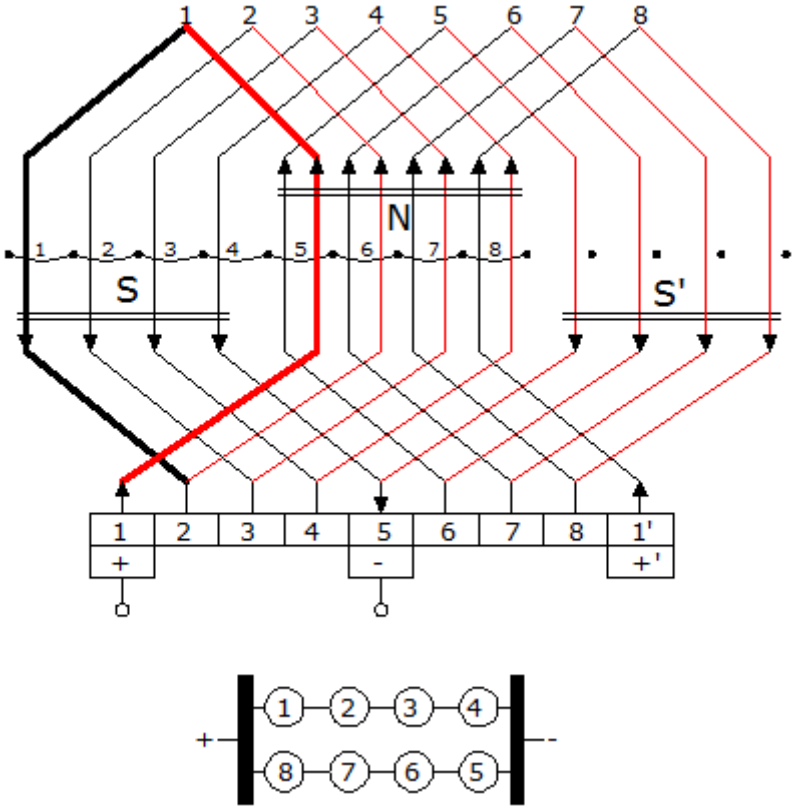
Örnek 11. x=8, K=8, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.9 x=8, K=8, 2P=2, m= -1

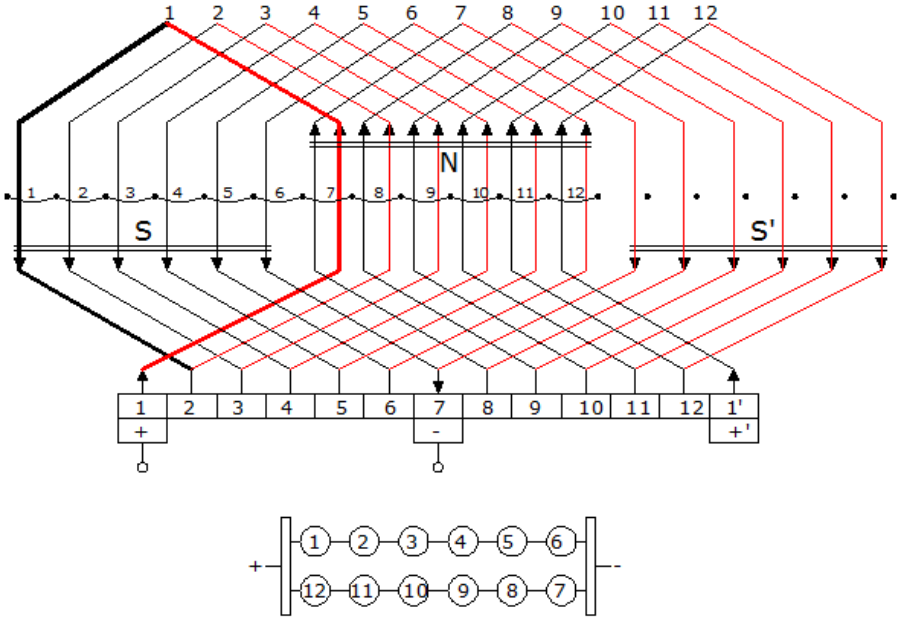
Örnek 12. x=12, K=12, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.10 x=12, K=12, 2P=2, m= -1

4.1.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

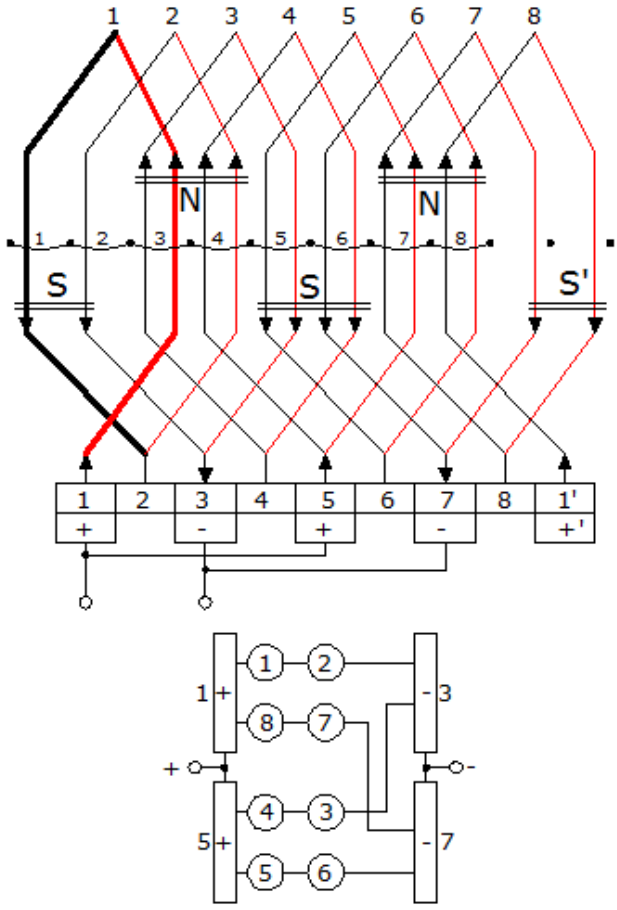
Örnek 13. x=8, K=8, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.11 x=8, K=8, 2P=4, m= -1

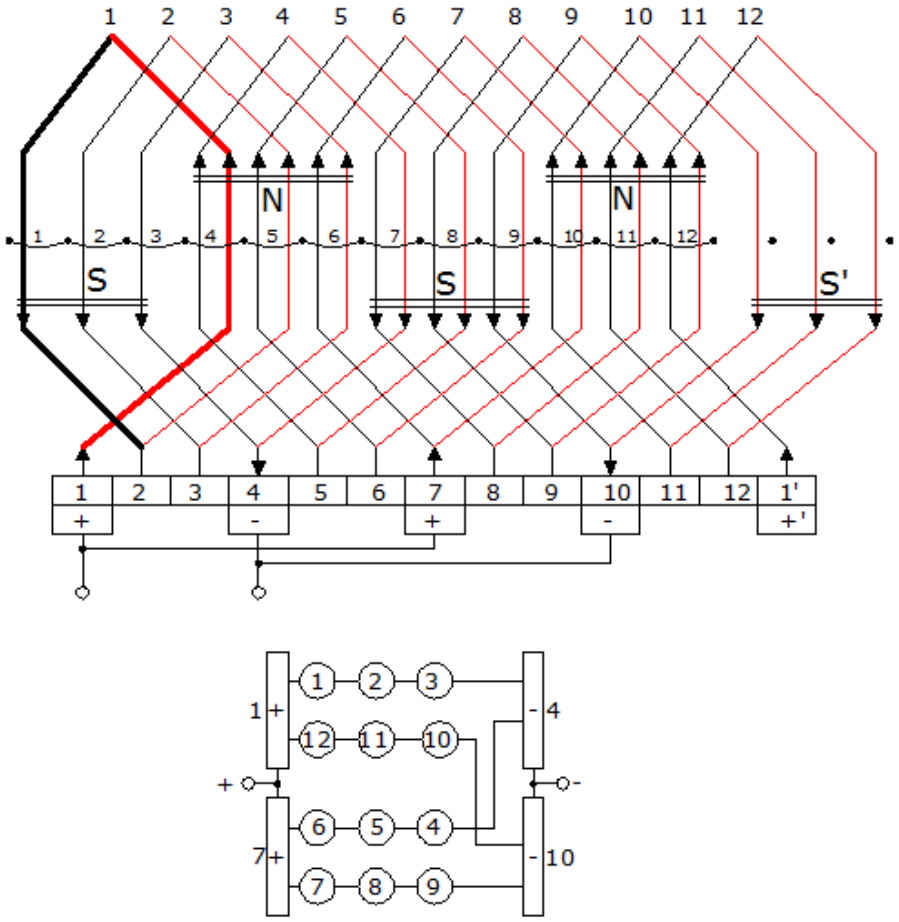
Örnek 14. x=12, K=12, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.12 x=12, K=12, 2P=4, m= -1

4.2 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Kutup Ekseninde

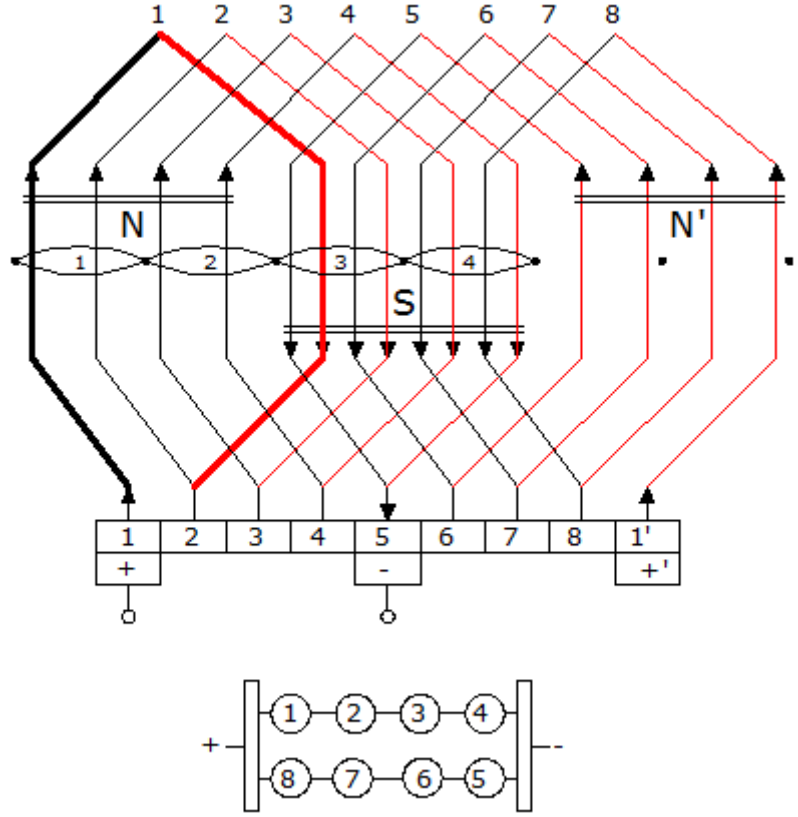
4.2.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

Örnek 15. x=4, K=8, 2P=2, m= +1
a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.13 x=4, K=8, 2P=2, m= +1

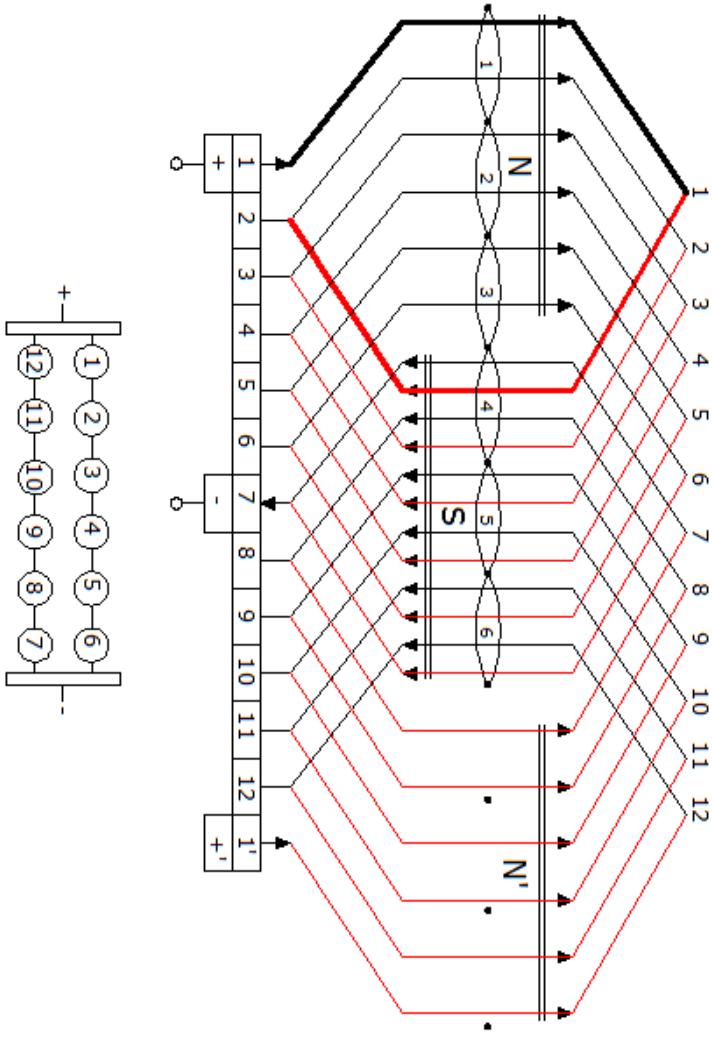
Örnek 16. x=6, K=12, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{6} = \mathbf{2}$$



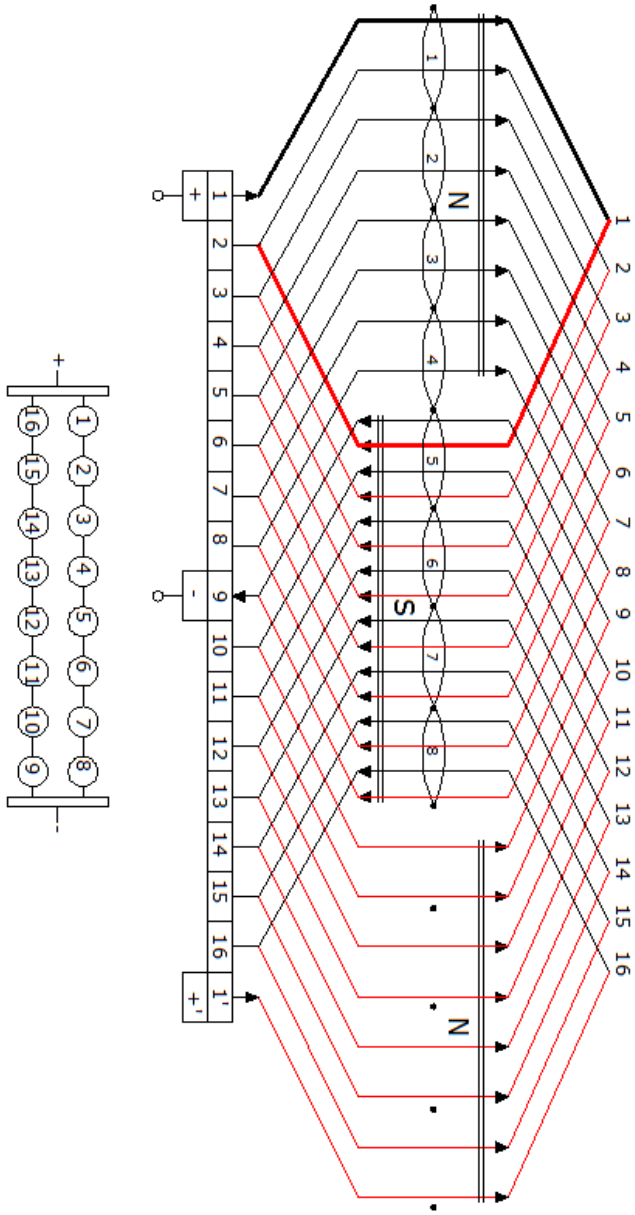
Şekil 0.14 x=6, K=12, 2P=2, m= +1

Örnek 17. x=8, K=16, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5) Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{16}{2} - 1 = 7$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{16}{8} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.15 x=8, K=16, 2P=2, m= +1

4.2.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

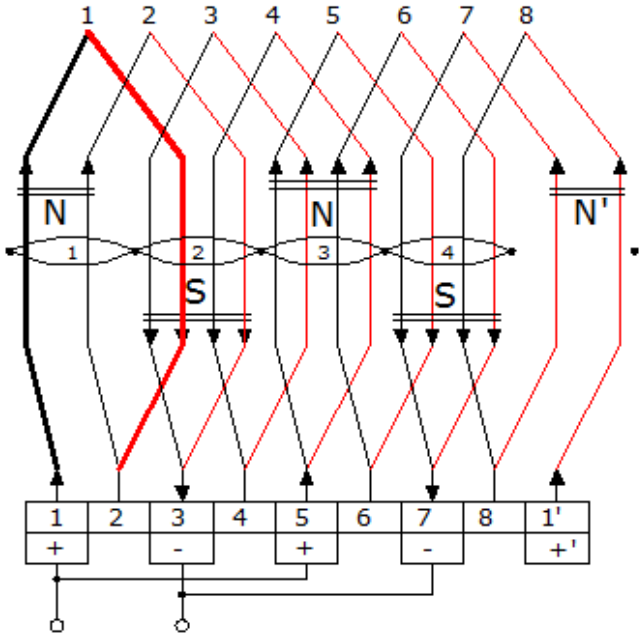
Örnek 18. x=4, K=8, 2P=4, m= +1

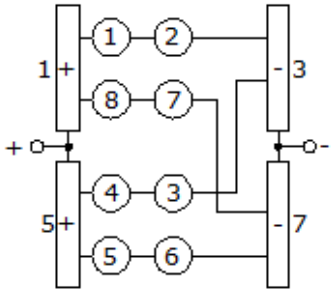
a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{4} = 1(1-2)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = \mathbf{2}$$





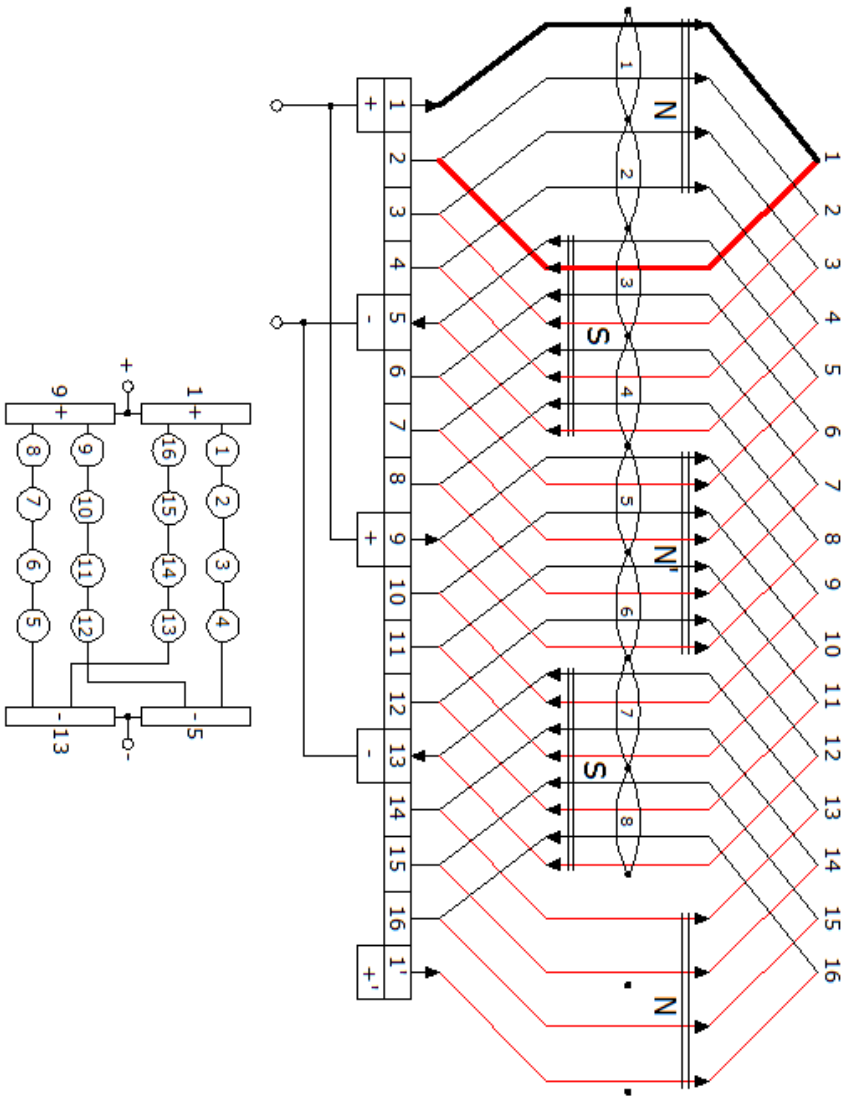
Şekil 0.16 x=4, K=8, 2P=4, m= +1

Örnek 19. x=8, K=16, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3)\; Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{16}{4} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{16}{8} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.17 x=8, K=16, 2P=4, m= +1

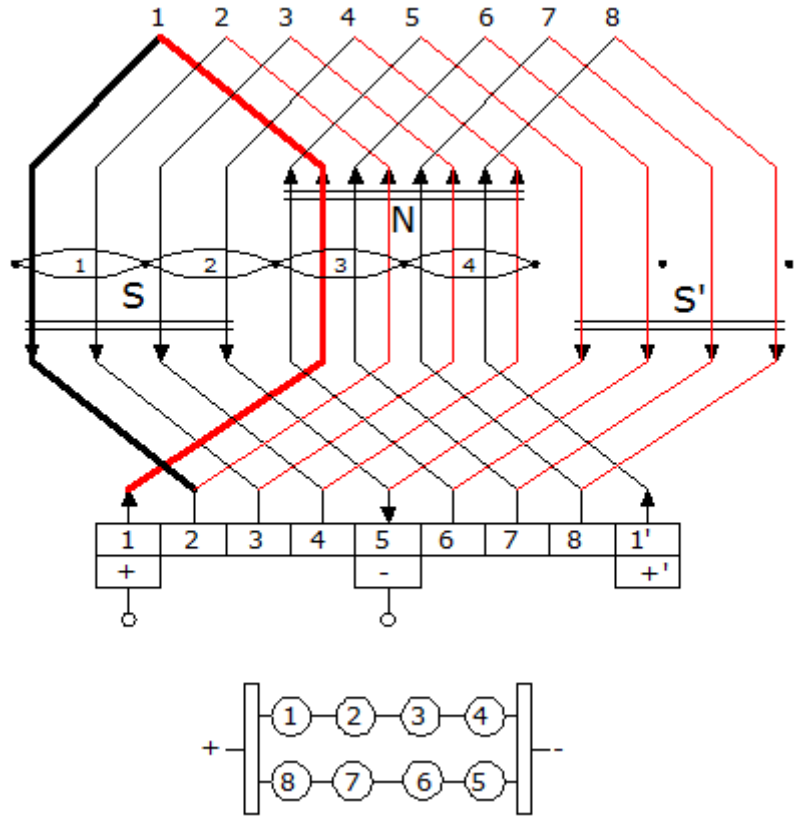
4.2.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

Örnek 20. x=4, K=8, 2P=2, m= -1
a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.18 x=4, K=8, 2P=2, m= -1

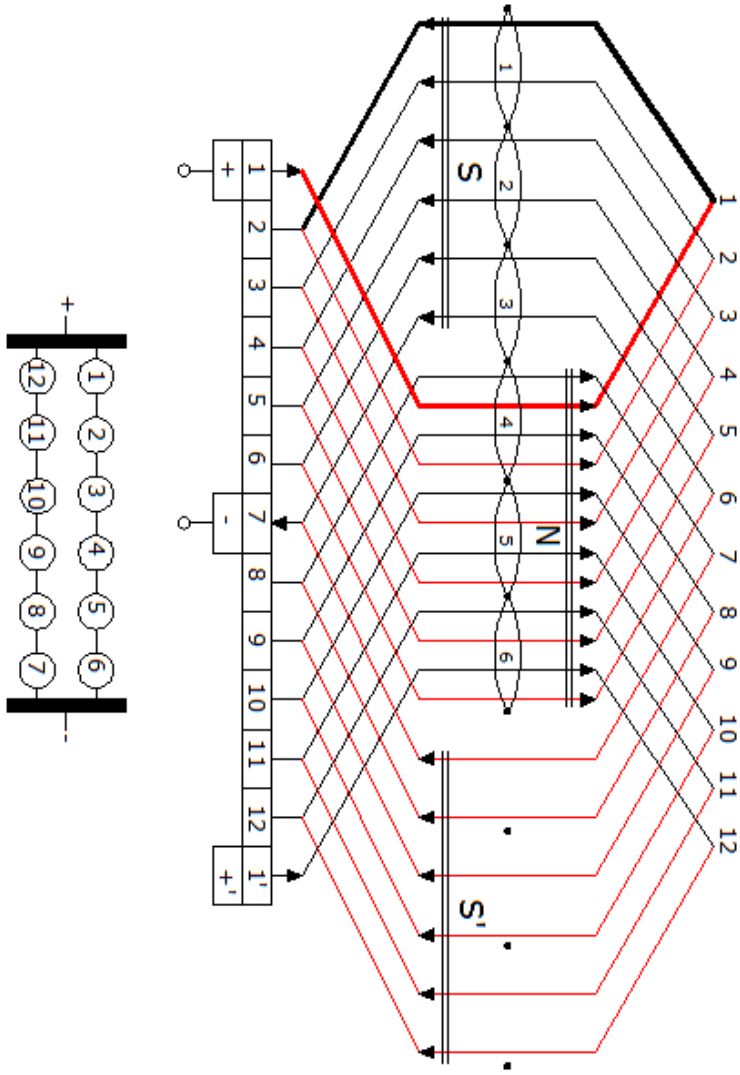
Örnek 21. x=6, K=12, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{6} = \mathbf{2}$$



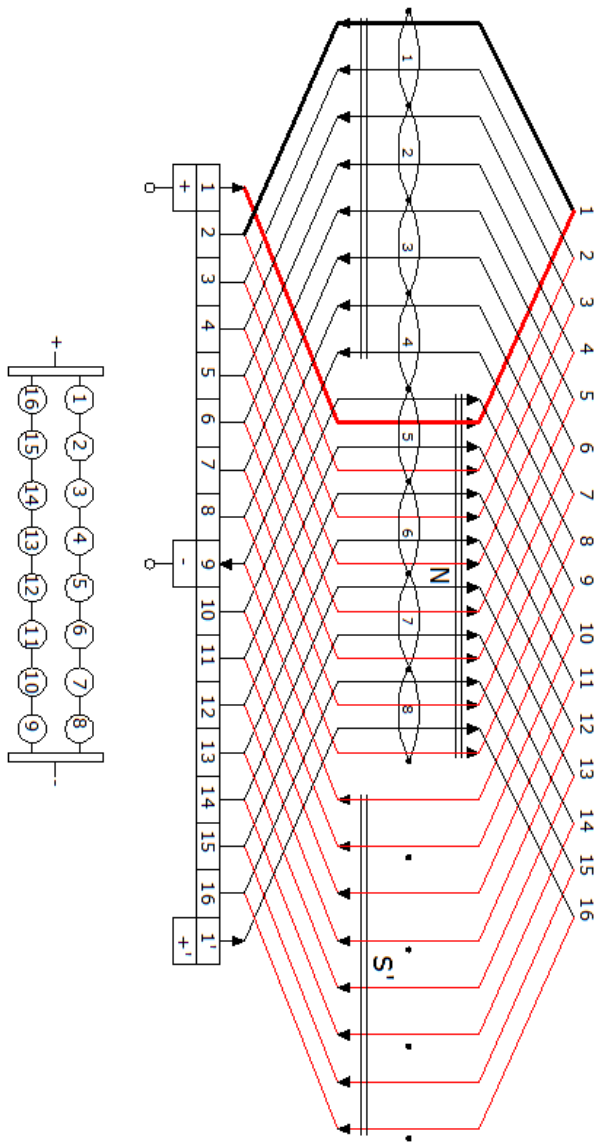
Şekil 0.19 x=6, K=12, 2P=2, m= -1

Örnek 22. x=8, K=16, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5)\; Y_K = m = -1 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{16}{2} - 1 = 7$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{16}{8} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.20 x=8, K=16, 2P=2, m= -1

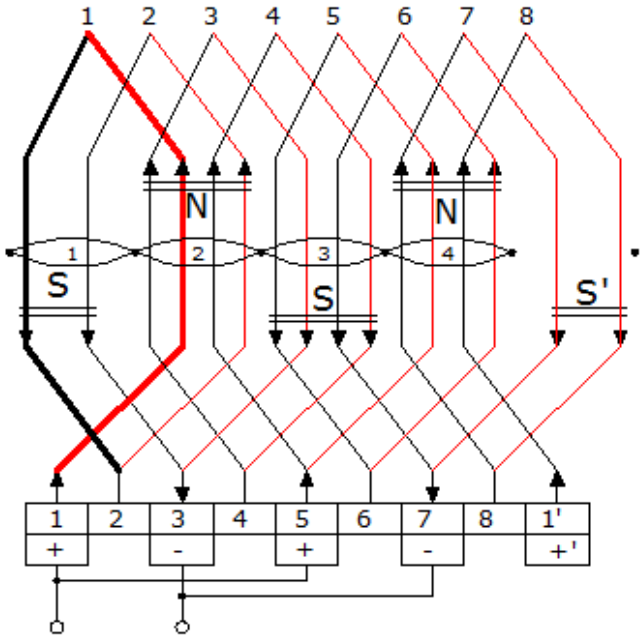
4.2.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

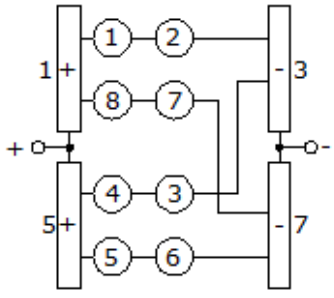
Örnek 23. x=4, K=8, 2P=4, m= -1
a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{4} = 1(1-2)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = 2$$





Şekil 0.21 x=4, K=8, 2P=4, m= +1

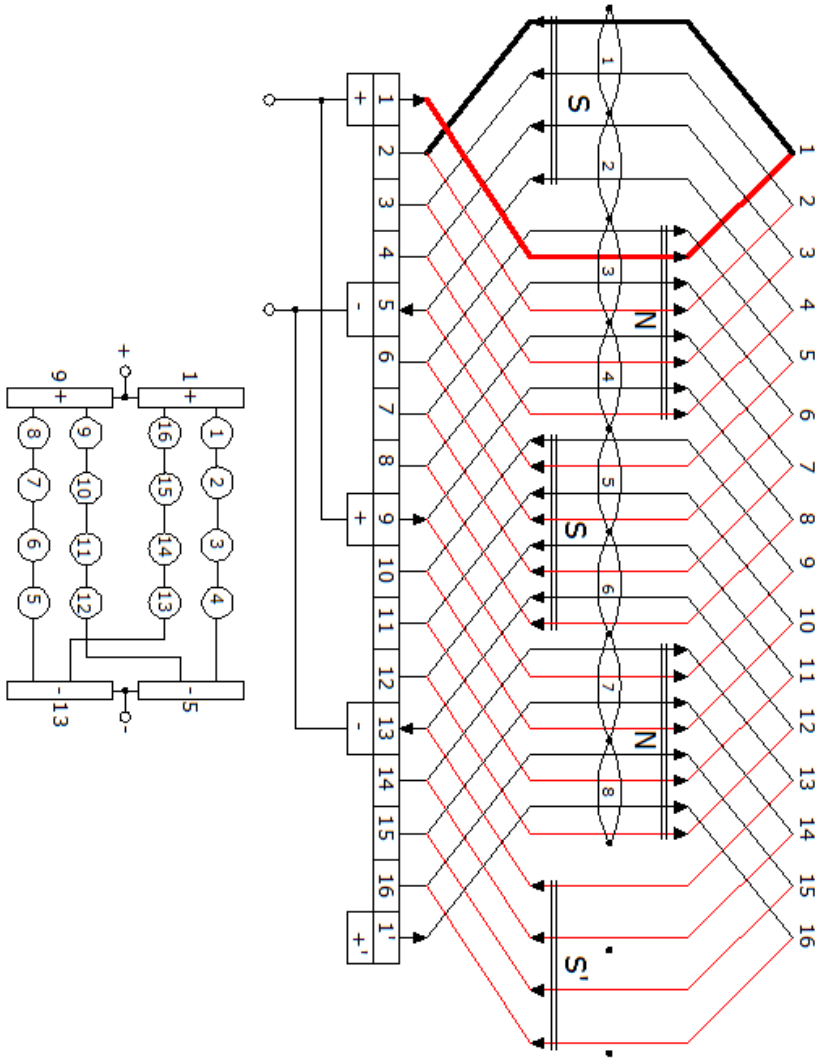
Örnek 24. x=8, K=16, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{16}{4} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{16}{8} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.22 x=8, K=16, 2P=4, m= -1

4.3 Bobin Yanı u=3, Fırçalar Kutup Ekseninde

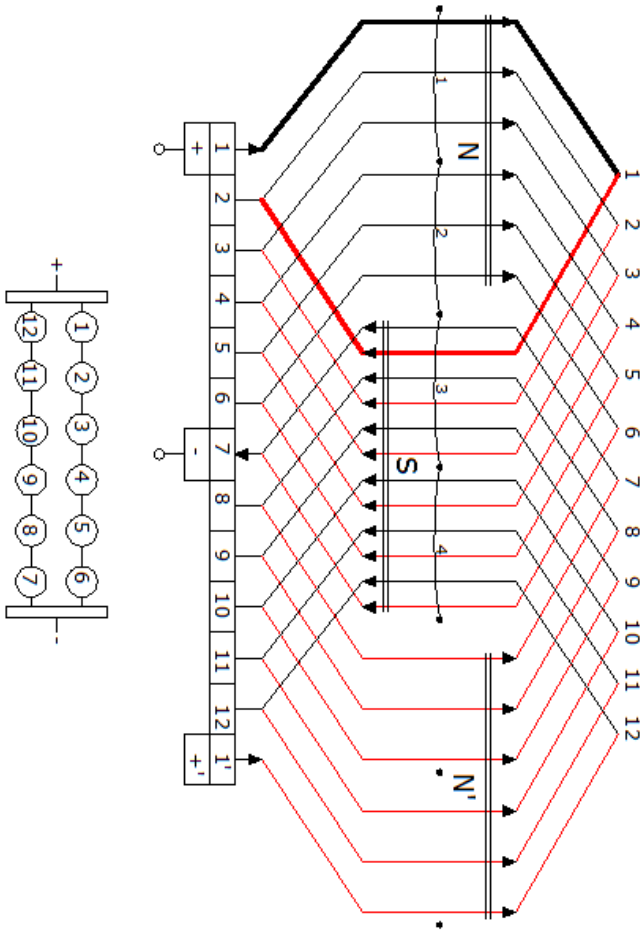
4.3.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

Örnek 25. x=4, K=12, 2P=2, m= +1
a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{4} = \mathbf{3}$$



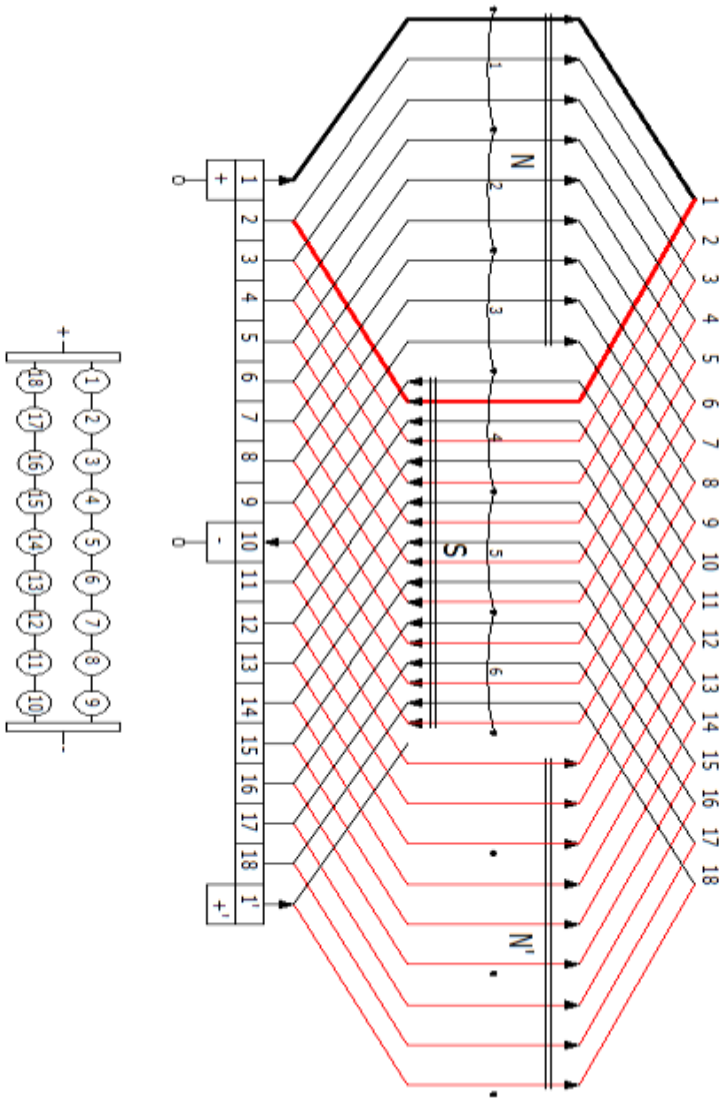
Şekil 0.23 x=4, K=12, 2P=2, m= +1

Örnek 26. x=6, K=18, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{18}{2} - 1 = 8$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{18}{6} = 3$$



Şekil 0.24 x=6, K=18, 2P=2, m= +1

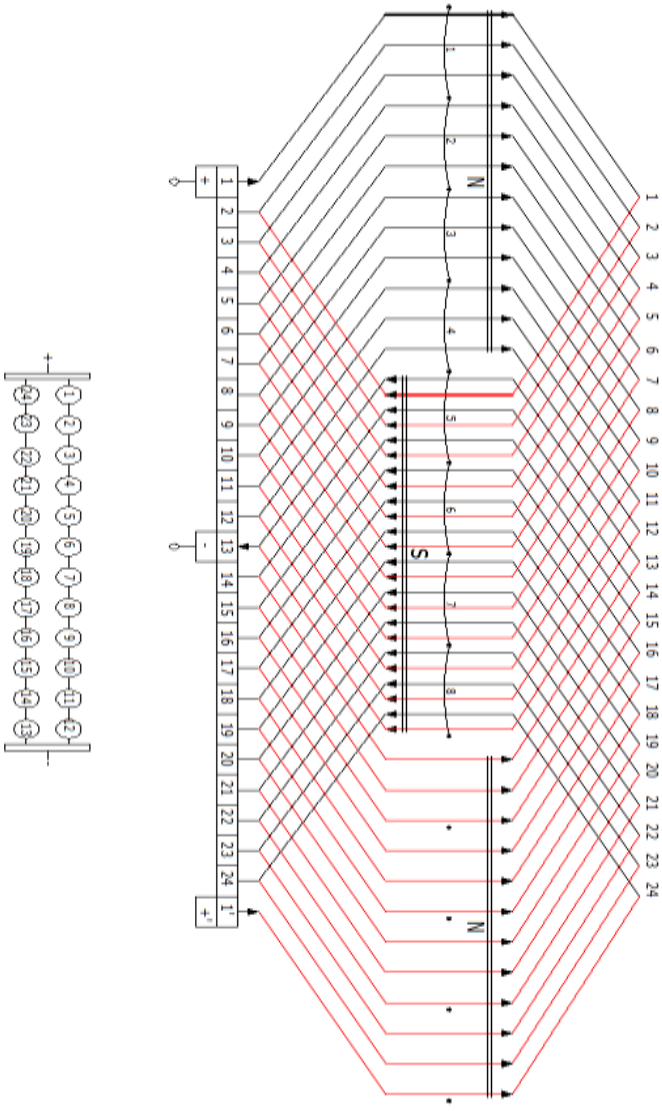
Örnek 27. x=8, K=24, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5) \quad Y_K = m = 1 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{24}{2} - 1$$

$$= 11$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \quad u = \frac{K}{X} = \frac{24}{8} = \mathbf{3}$$



Şekil 0.25 x=8, K=24, 2P=2, m= +1

4.3.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

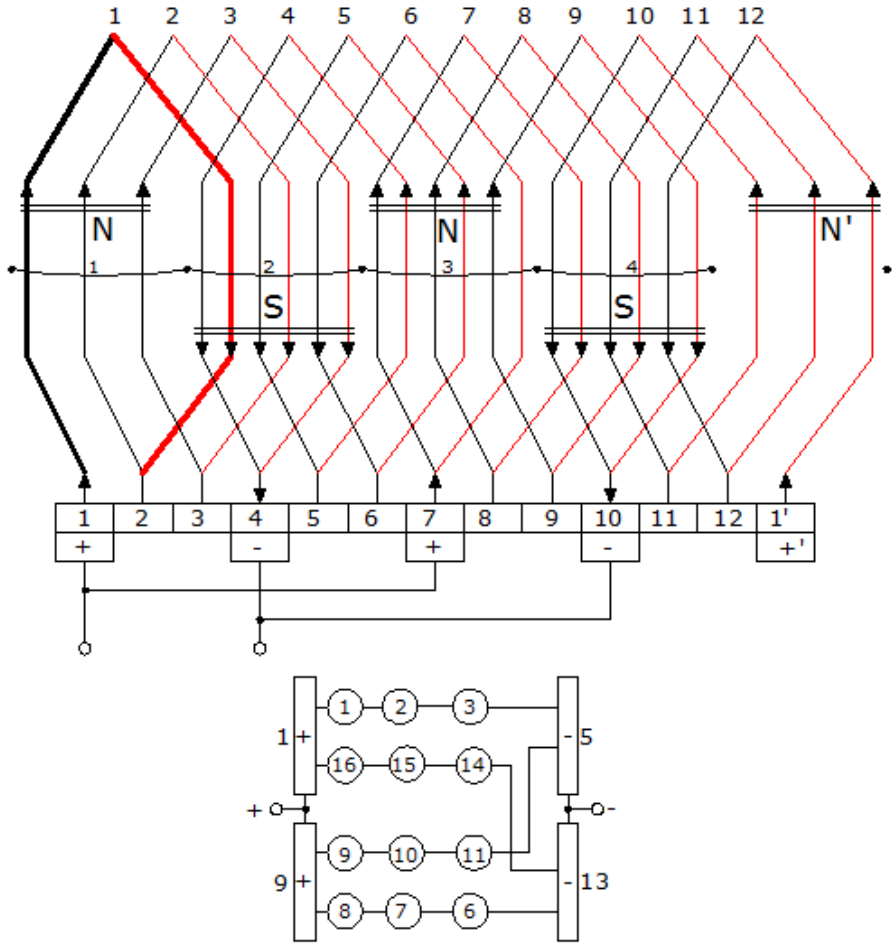
Örnek 28. x=4, K=12, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{4} = 1(1-2)\; Y_K = m = +1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{4} = \mathbf{3}$$



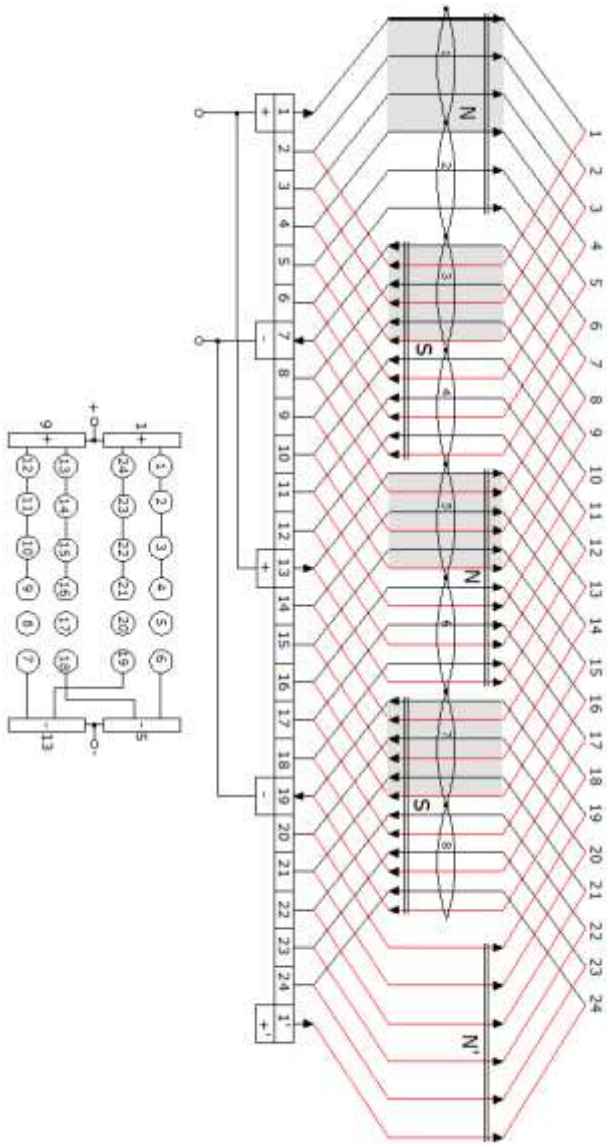
Şekil 0.26 x=4, K=12, 2P=4, m= +1

Örnek 29. x=8, K=24, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) \quad Y_K = m = +1 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{24}{4} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \quad u = \frac{K}{X} = \frac{24}{8} = \mathbf{3}$$



Şekil 0.27 x=8, K=24, 2P=4, m= +1

4.3.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

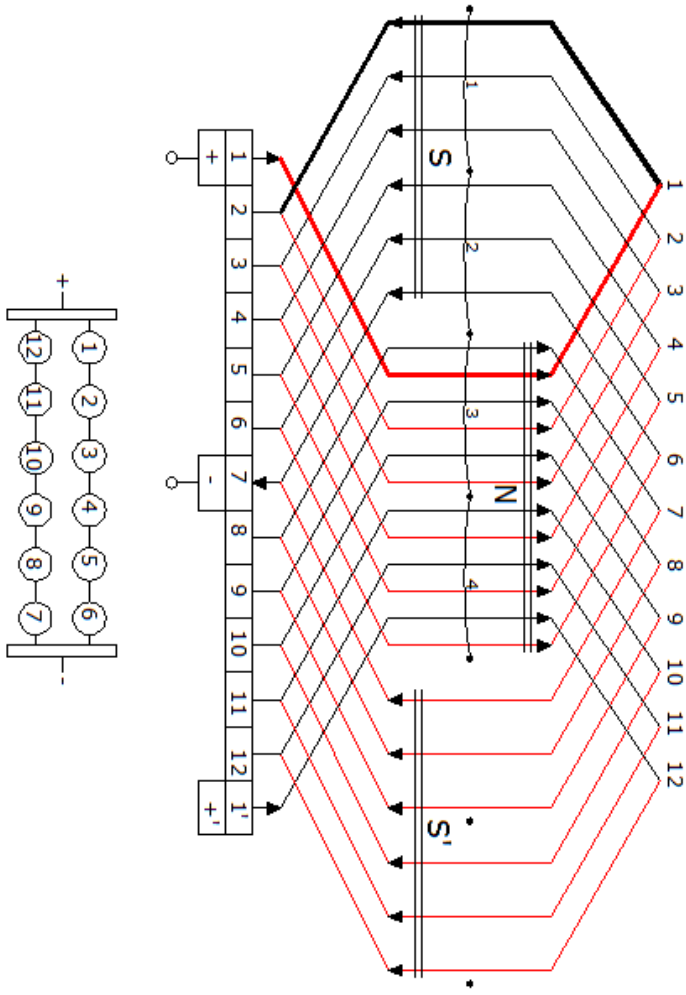
Örnek 30. x=4, K=12, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) \;\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{4} = 3$$



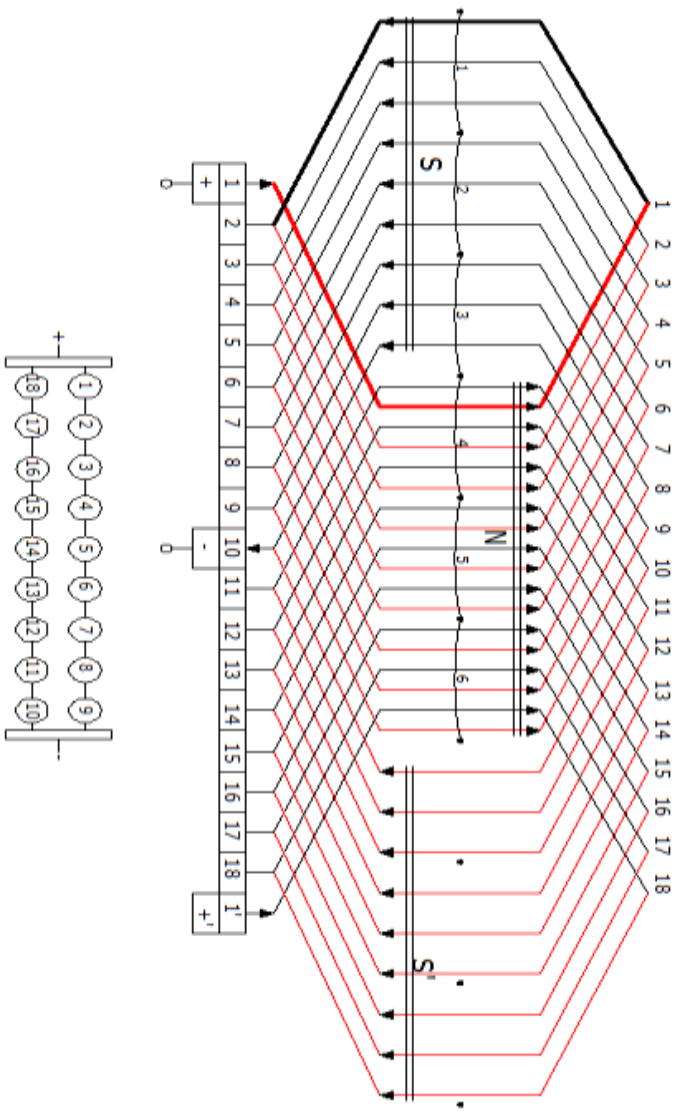
Şekil 0.28 x=4, K=12, 2P=2, m= -1

Örnek 31. x=6, K=18, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) \quad Y_K = m = -1 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{18}{2} - 1 = 8$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \quad u = \frac{K}{X} = \frac{18}{6} = \mathbf{3}$$



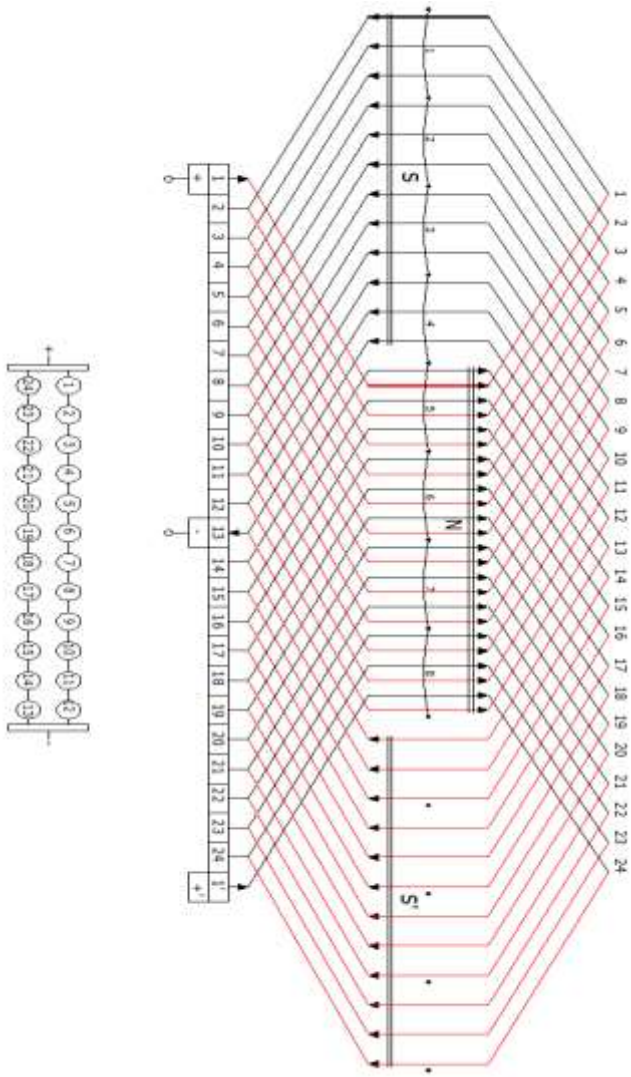
Şekil 0.29 x=6, K=18, 2P=2, m= -1

Örnek 32. x=8, K=24, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5) \qquad Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{24}{2} - 1 = 11$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{24}{8} = \mathbf{3}$$



Şekil 0.30 x=8, K=24, 2P=2, m= +1

4.3.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

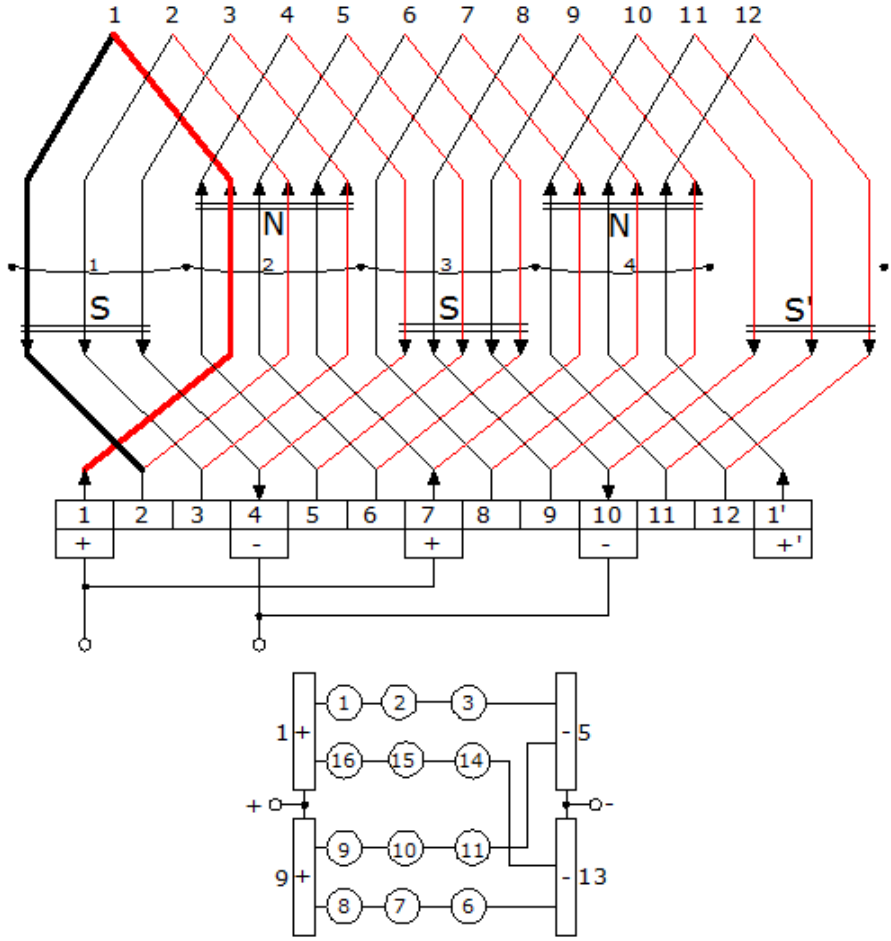
Örnek 33. x=4, K=12, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{4} = 1(1-2)\; Y_K = m = +1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{4} = \mathbf{3}$$



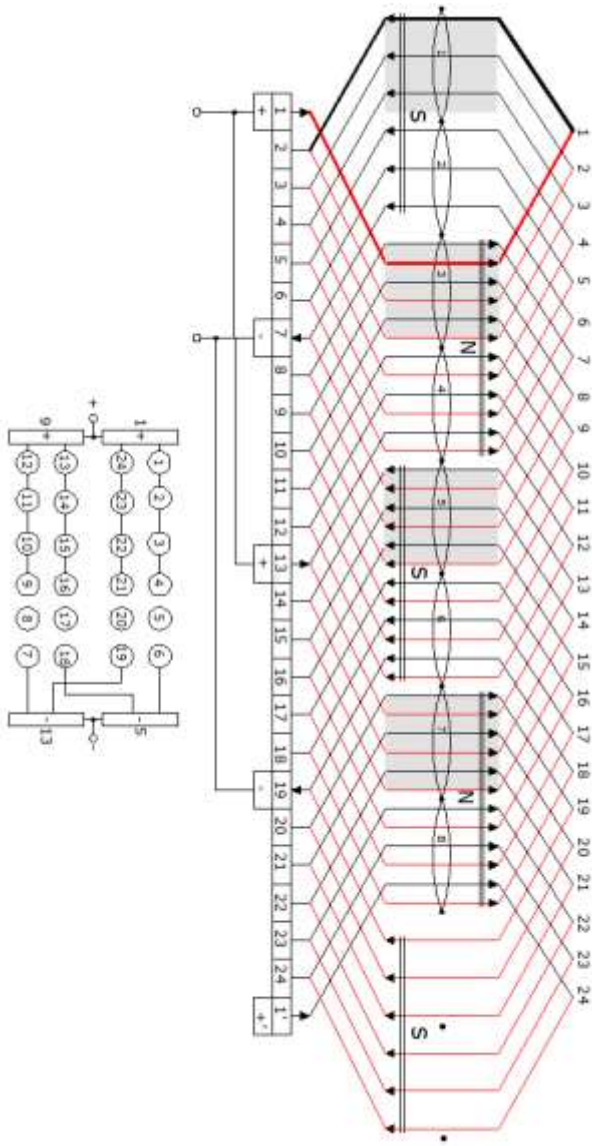
Şekil 0.31 x=4, K=12, 2P=4, m= +1

Örnek 34. x=8, K=24, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) \qquad Y_K = m = -1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{24}{4} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{24}{8} = \mathbf{3}$$



Şekil 0.32 x=8, K=24, 2P=4, m= -1

4.4 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Nötr ekseninde

4.4.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

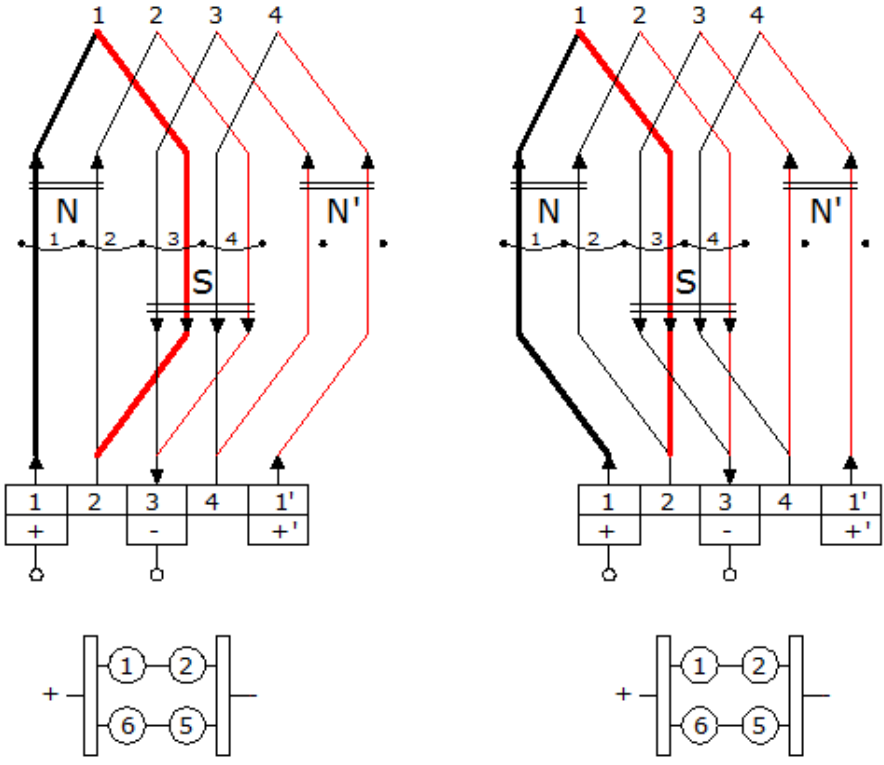
Örnek 35. x=4, K=4, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) \quad Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{4}{2} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{4}{4} = 1$$



Şekil 0.33 x=4, K=4, 2P=2, m= +1

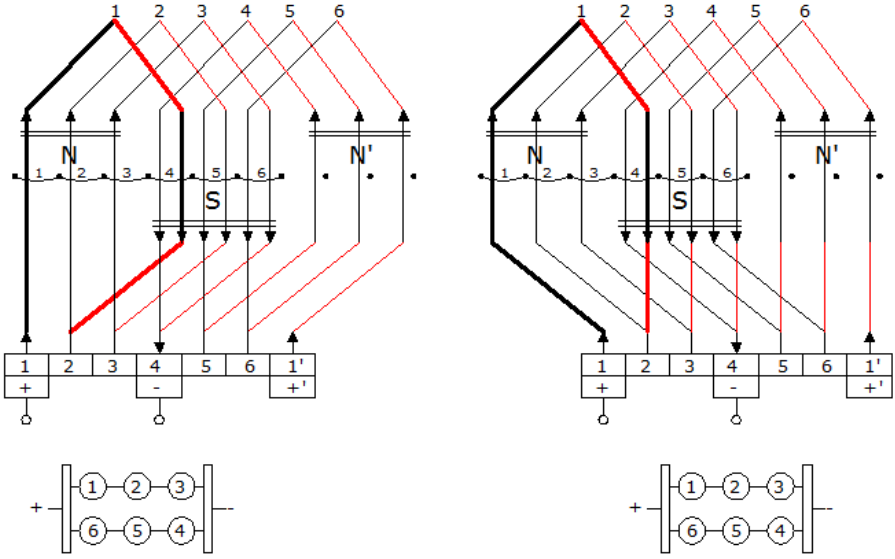
Örnek 36. x=6, K=6, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{6}{2} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{6}{6} = 1$$



Şekil 0.34 x=6, K=6, 2P=2, m= +1

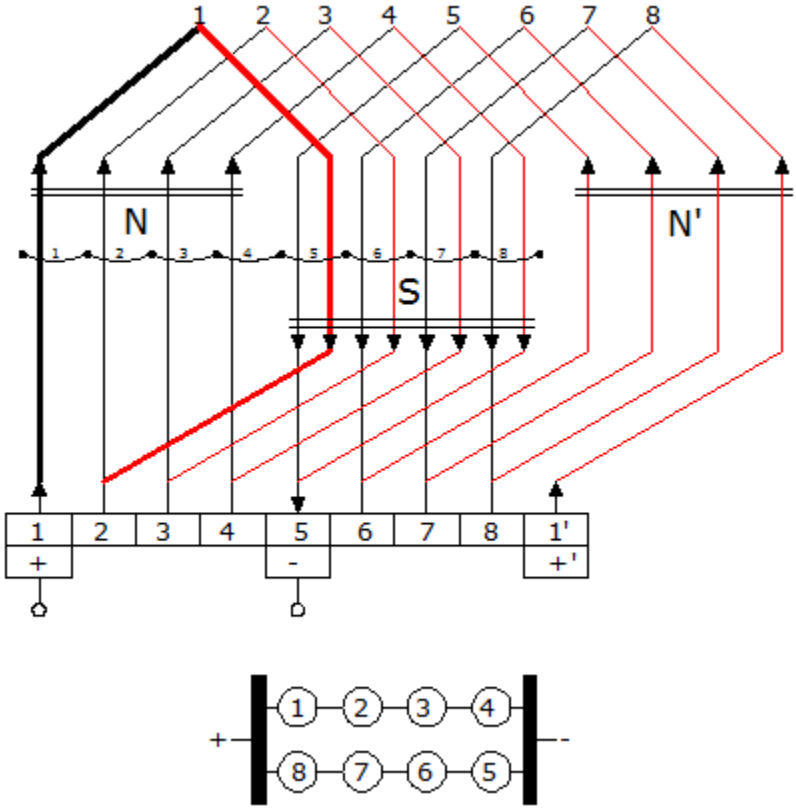
Örnek 37. x=8, K=8, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5) \;\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.35 x=8, K=8, 2P=2, m= +1

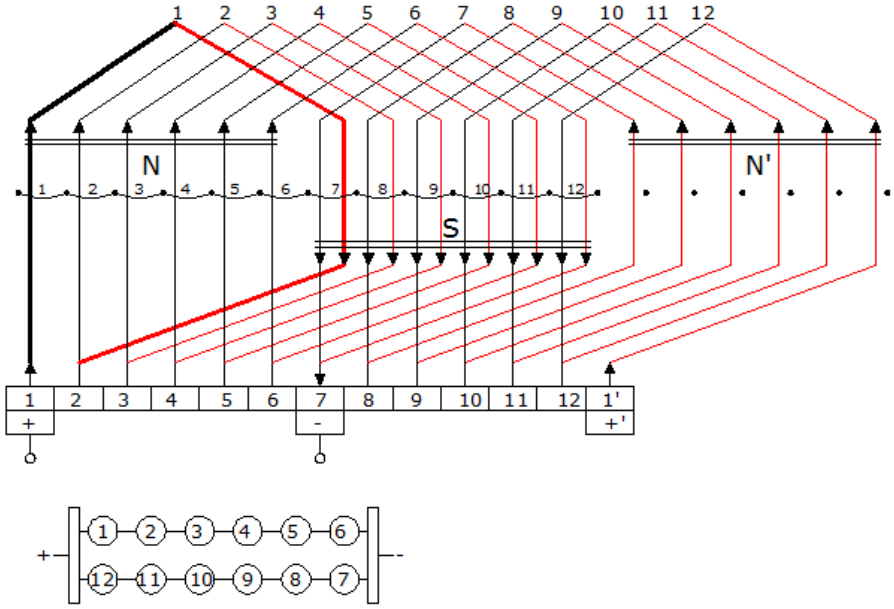
Örnek 38. x=12, K=12, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.36 x=12, K=12, 2P=2, m= +1

4.4.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

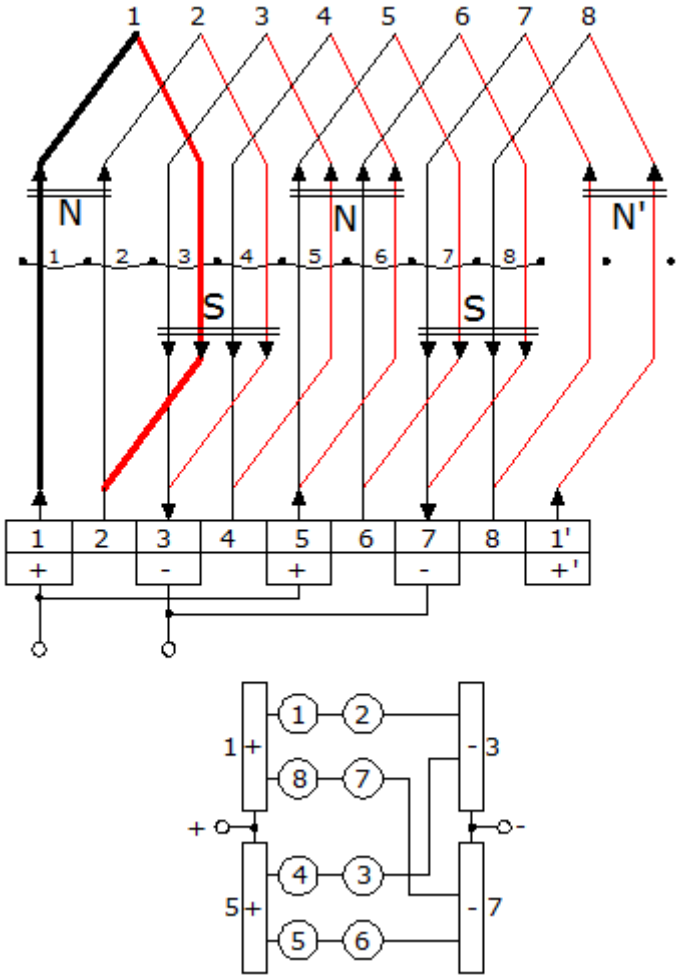
Örnek 39. x=8, K=8, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.37 x=8, K=8, 2P=4, m= +1

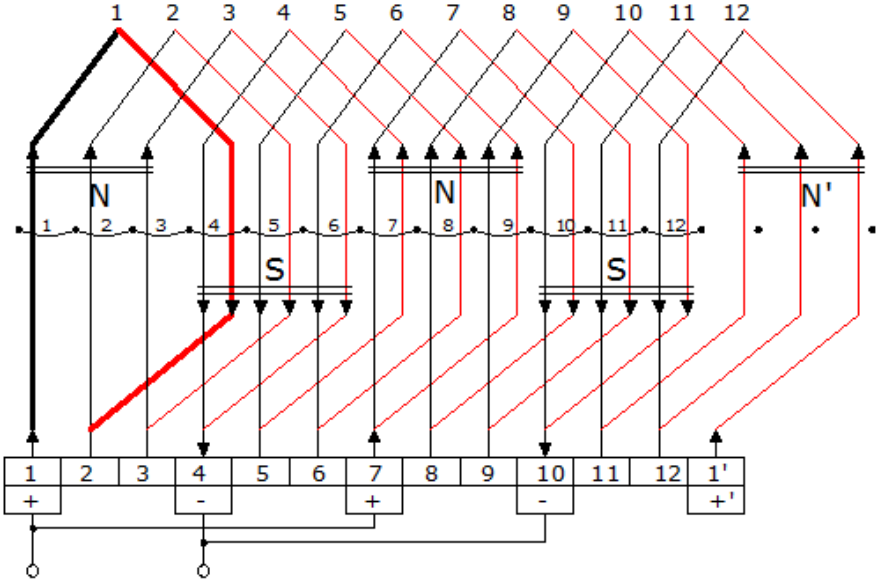
Örnek 40. x=12, K=12, 2P=4, m= +1

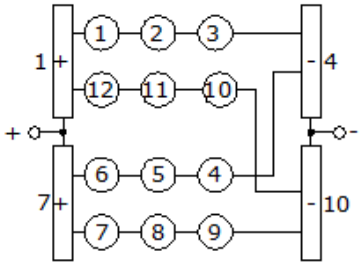
a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4)\ \ Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$





Şekil 0.38 x=12, K=12, 2P=2, m= +1

4.4.3 Basit Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

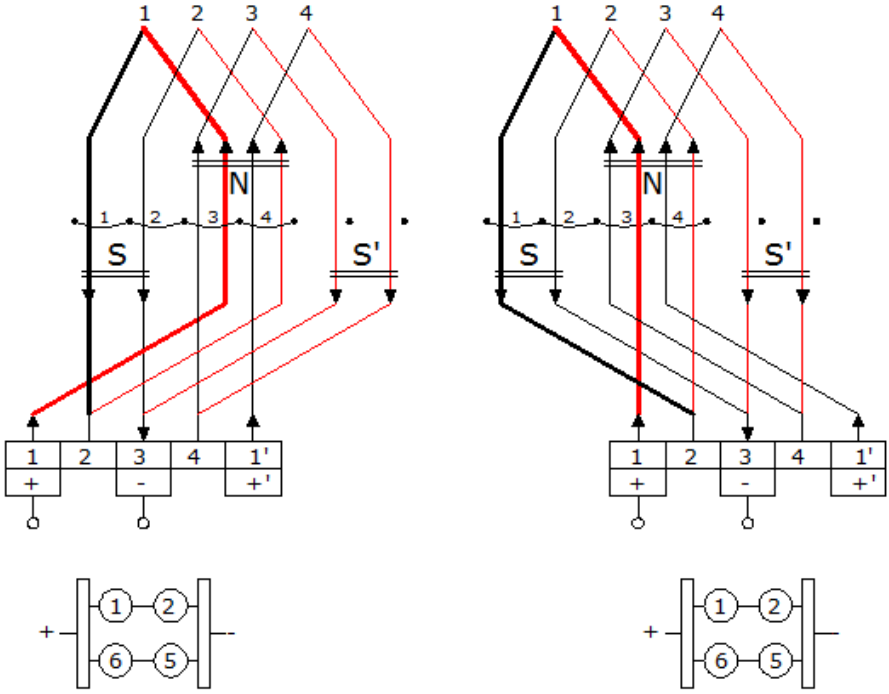
Örnek 41. x=4, K=4, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) \;\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{4}{2} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{4}{4} = 1$$



Şekil 0.39 x=4, K=4, 2P=2, m= -1

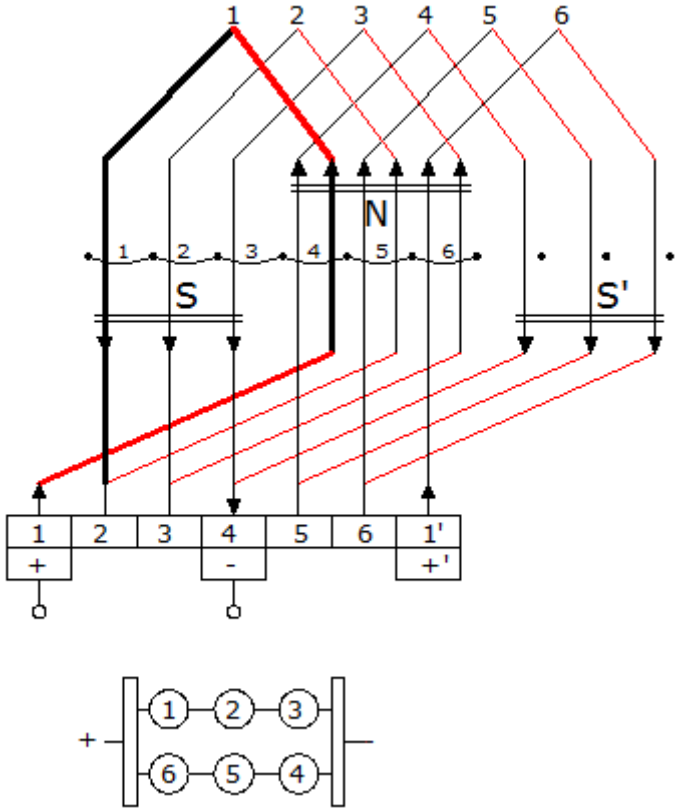
Örnek 42. x=6, K=6, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Sola açılımlı, endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) \;\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{6}{2} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{6}{6} = 1$$



Şekil 0.40 x=6, K=6, 2P=2, m= -1

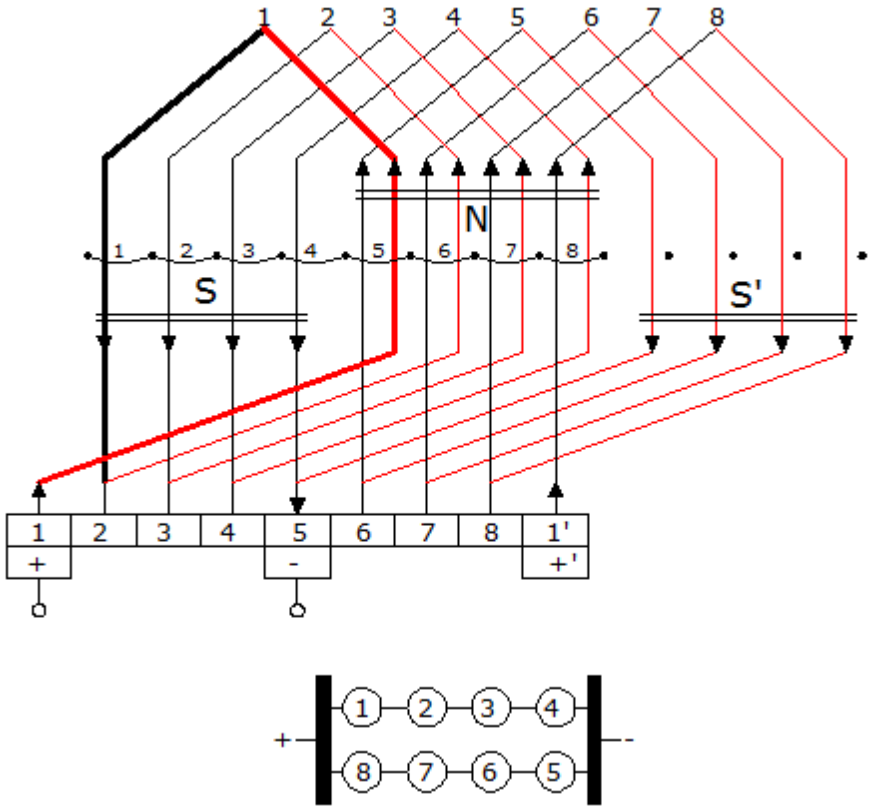
Örnek 43. x=8, K=8, 2P=2, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.41 x=8, K=8, 2P=2, m= -1

4.4.4 Basit Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-1)

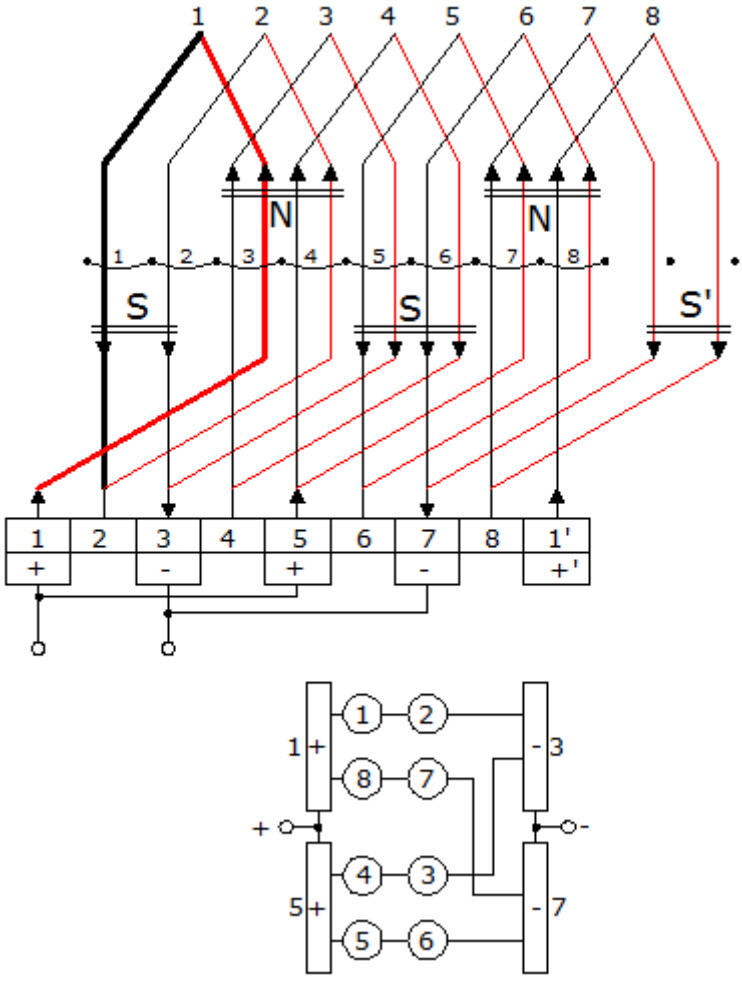
Örnek 44. x=8, K=8, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) \;\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.42 x=8, K=8, 2P=4, m= -1

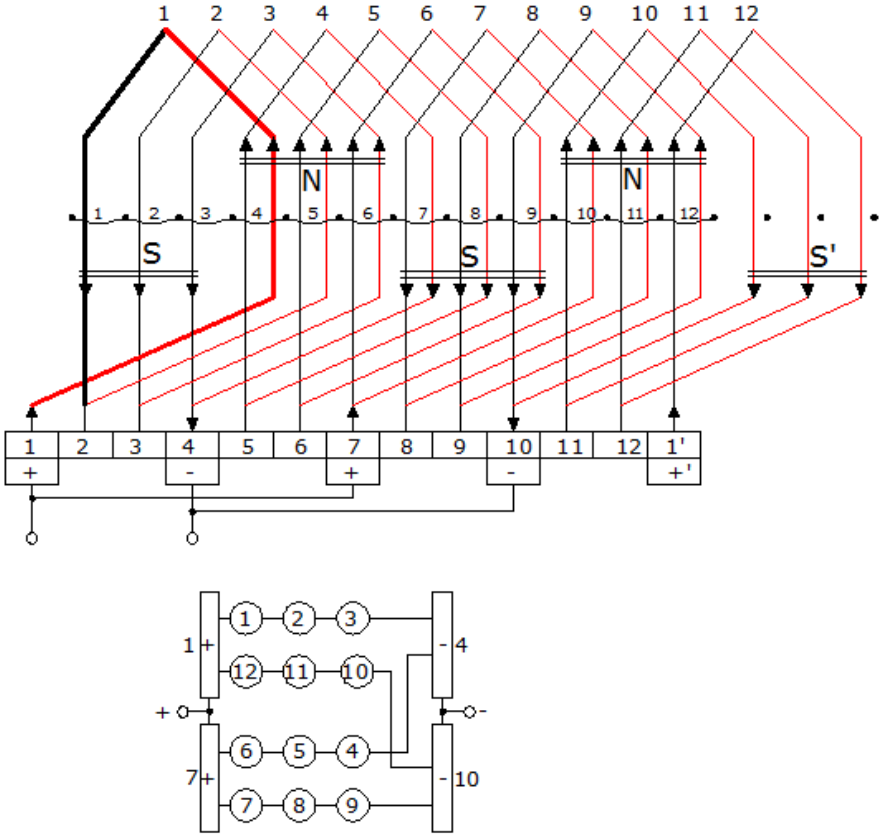
Örnek 45. x=12, K=12, 2P=4, m= -1

a) Paralel, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4)\; Y_K = m = -1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.43 x=12, K=12, 2P=4, m= -1

4.5 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Nötr ekseninde

4.5.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

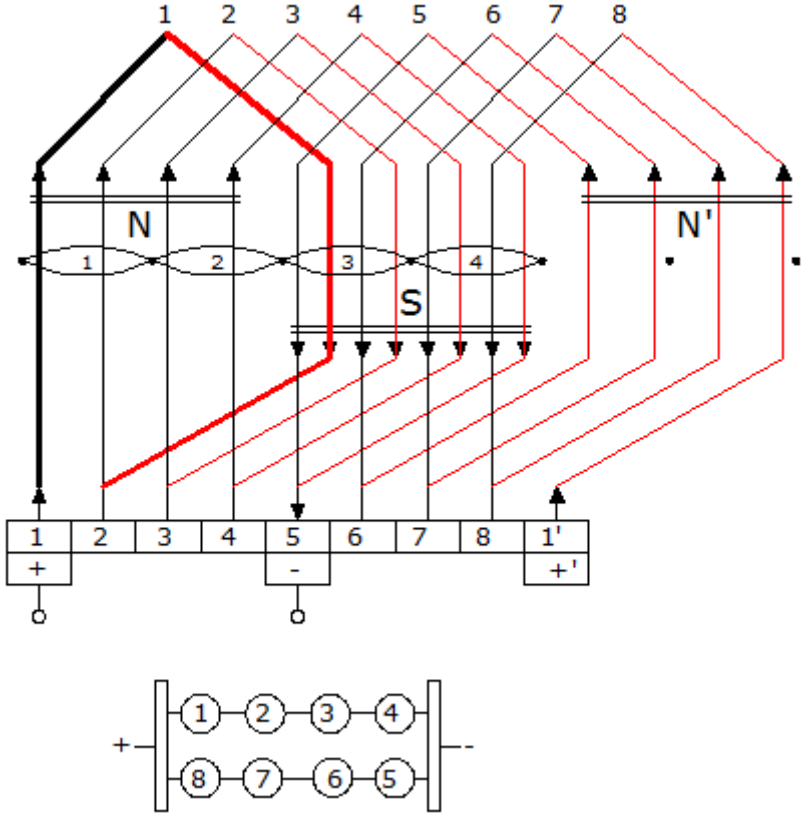
Örnek 46. x=4, K=8, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{2} = 2(1-3) Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = \mathbf{2}$$



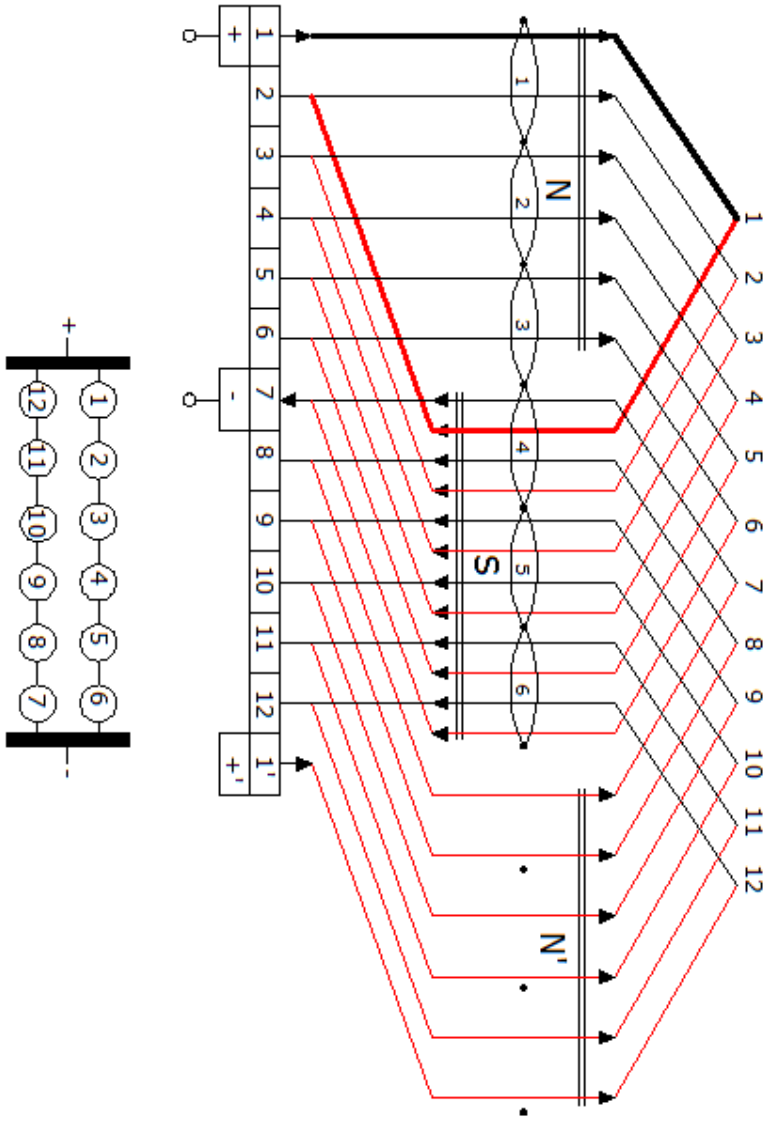
Şekil 0.44 x=4, K=8, 2P=2, m= +1

Örnek 47. x=6, K=12, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{6}{2} = 3(1-4) \qquad Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{6} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.45 x=6, K=12, 2P=2, m= +1

4.5.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

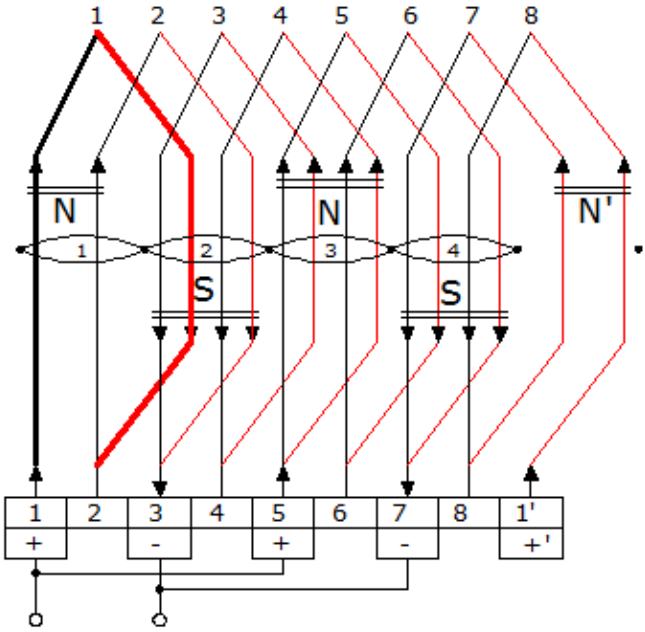
Örnek 48. x=4, K=8, 2P=4, m= +1

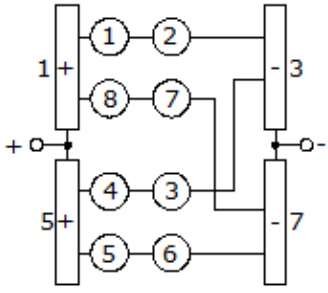
a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{4}{4} = 1(1-2) \;\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{4} - 1 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{4} = \mathbf{2}$$





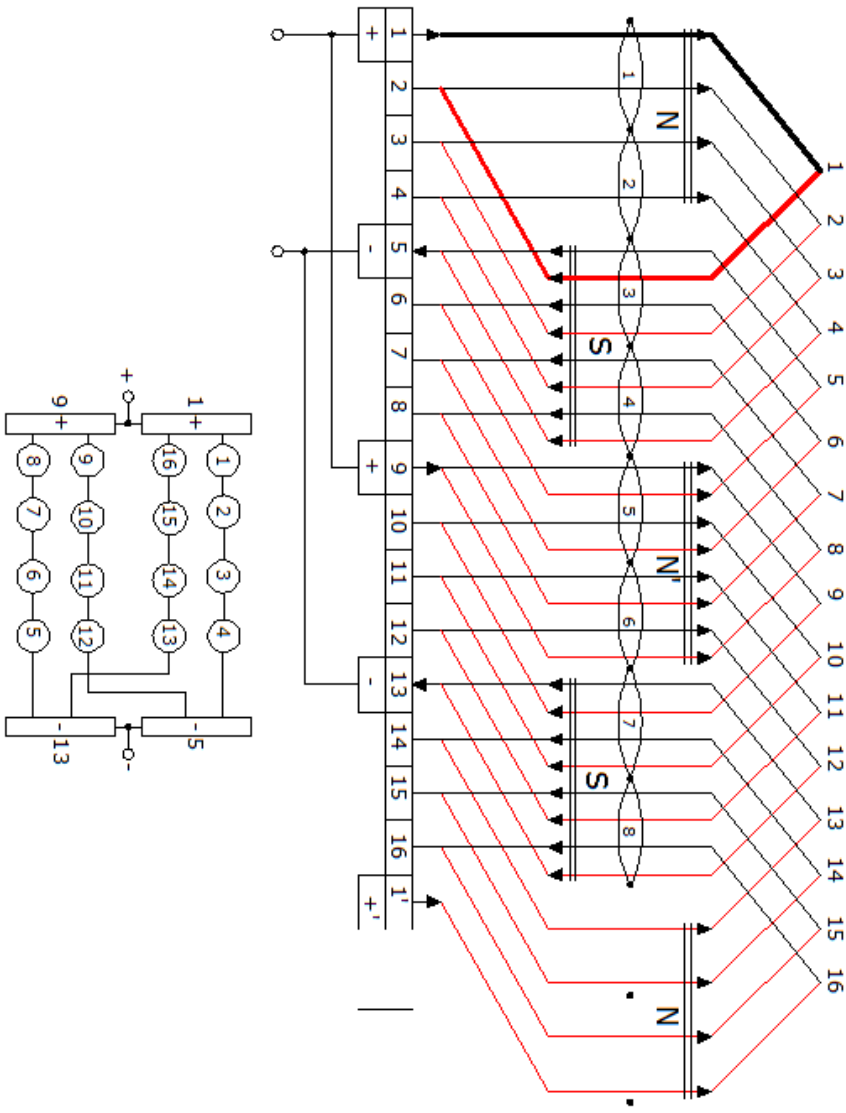
Şekil 0.46 x=4, K=8, 2P=4, m= +1

Örnek 49. x=8, K=16, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar nötr ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1-3) \qquad Y_K = m = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{16}{4} - 1 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{16}{8} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.47 x=8, K=16, 2P=4, m= +1

4.6. Ölü Bobin Bulunan Endüvi Sarımları (Bobin Yanı u=2)

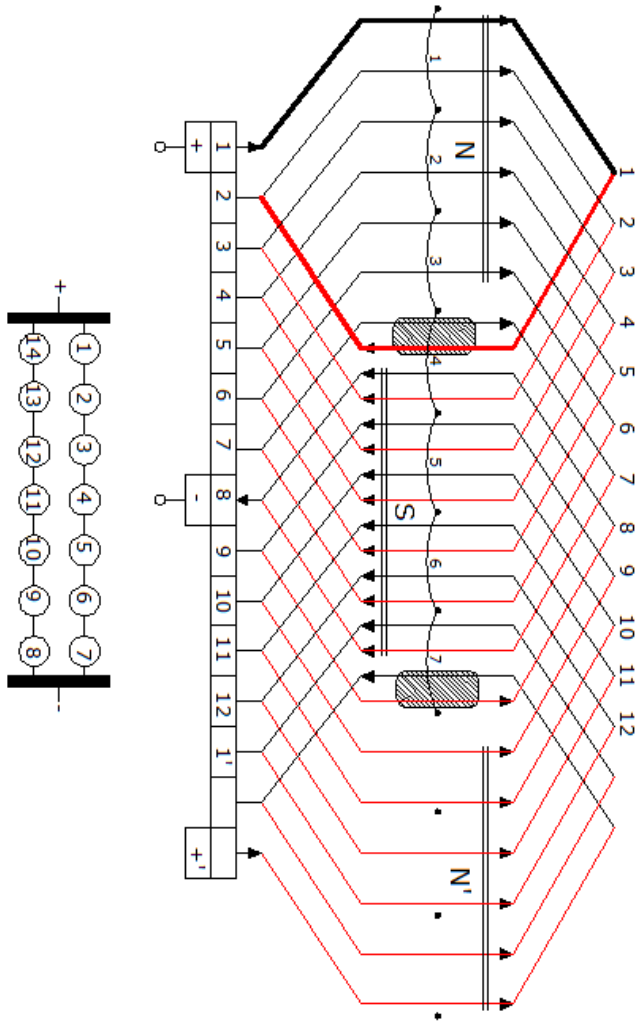
4.6.1 Basit İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

Örnek 50. x=7, K=14, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{7-1}{2} = 3(1-4) \qquad Y_K = 1 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{14}{2} - 1 = 6$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{14}{7} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.48

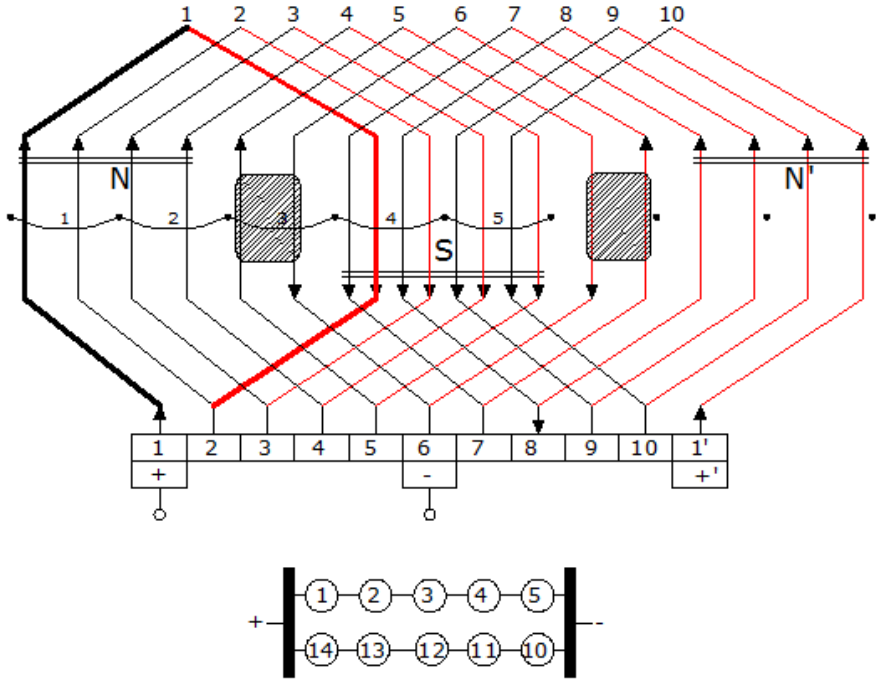
Örnek 51. x=5, K=10, 2P=2, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Uzun adımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{5+1}{2} = 3(1-4)\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{10}{2} - 1 = 4$$

$$2a = 2p.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{10}{5} = \mathbf{2}$$



Şekil 0.49 x=5, K=10, 2P=2, m= +1

4.6.2 Basit İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+1)

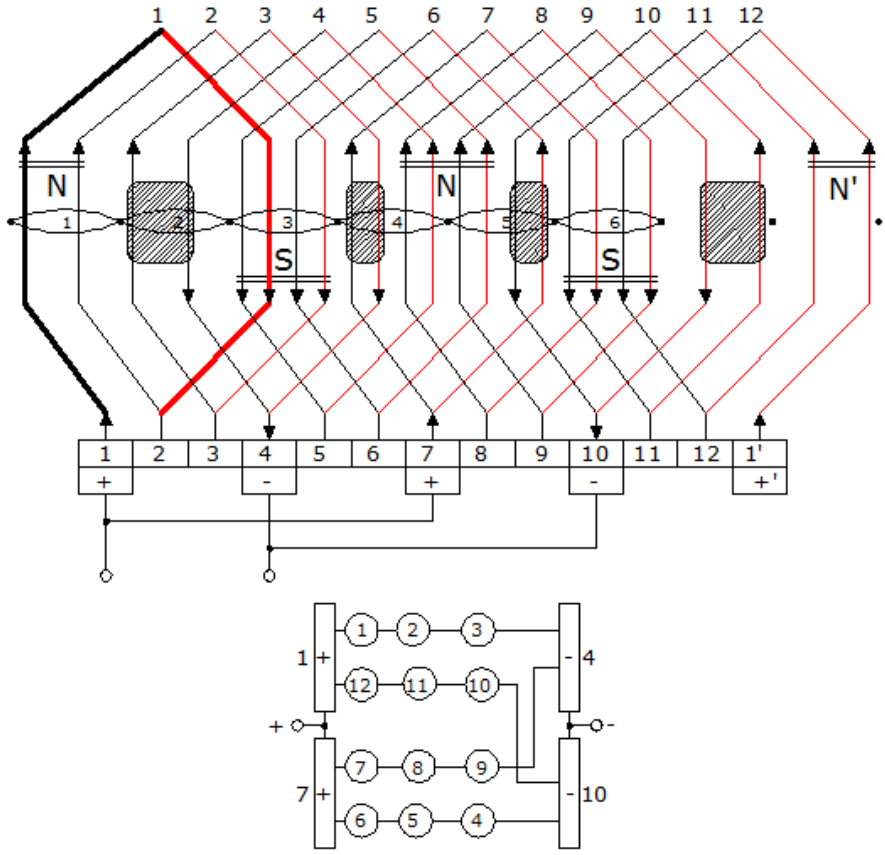
Örnek 52. x=6, K=12, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Uzun adımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{6+2}{4} = 2(1-3) \;\; Y_K = m = 1$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 1 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{6} = \mathbf{2}$$



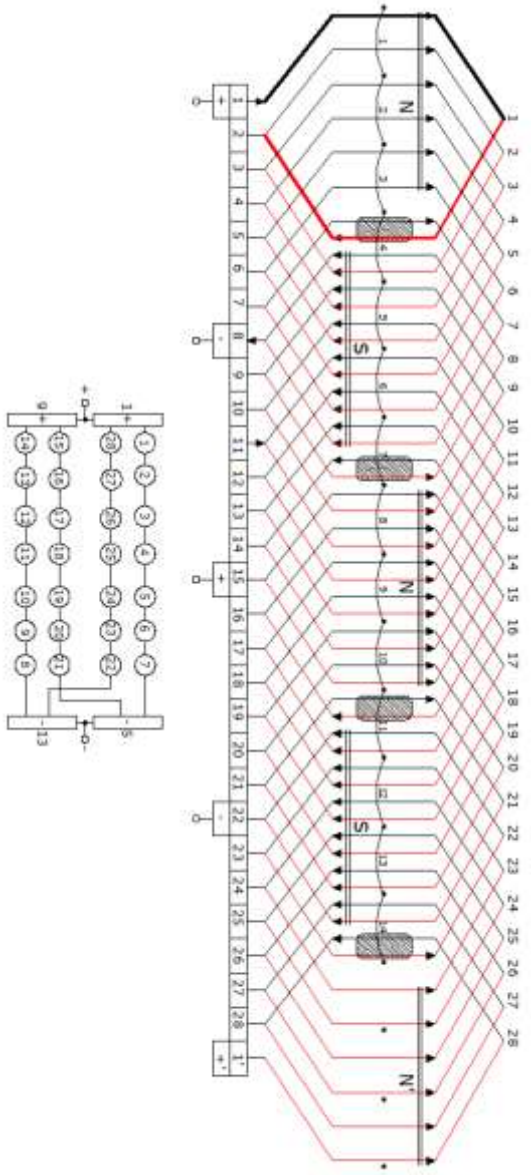
Şekil 0.50 x=6, K=12, 2P=4, m= +1

Örnek 53. x=14, K=28, 2P=4, m= +1

a) Paralel, b) Basit, c) **İlerleyen** adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X-q}{2p} = \frac{14-2}{4} = 3(1-4) \quad Y_K = 1 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{28}{4} - 1 = 6$$

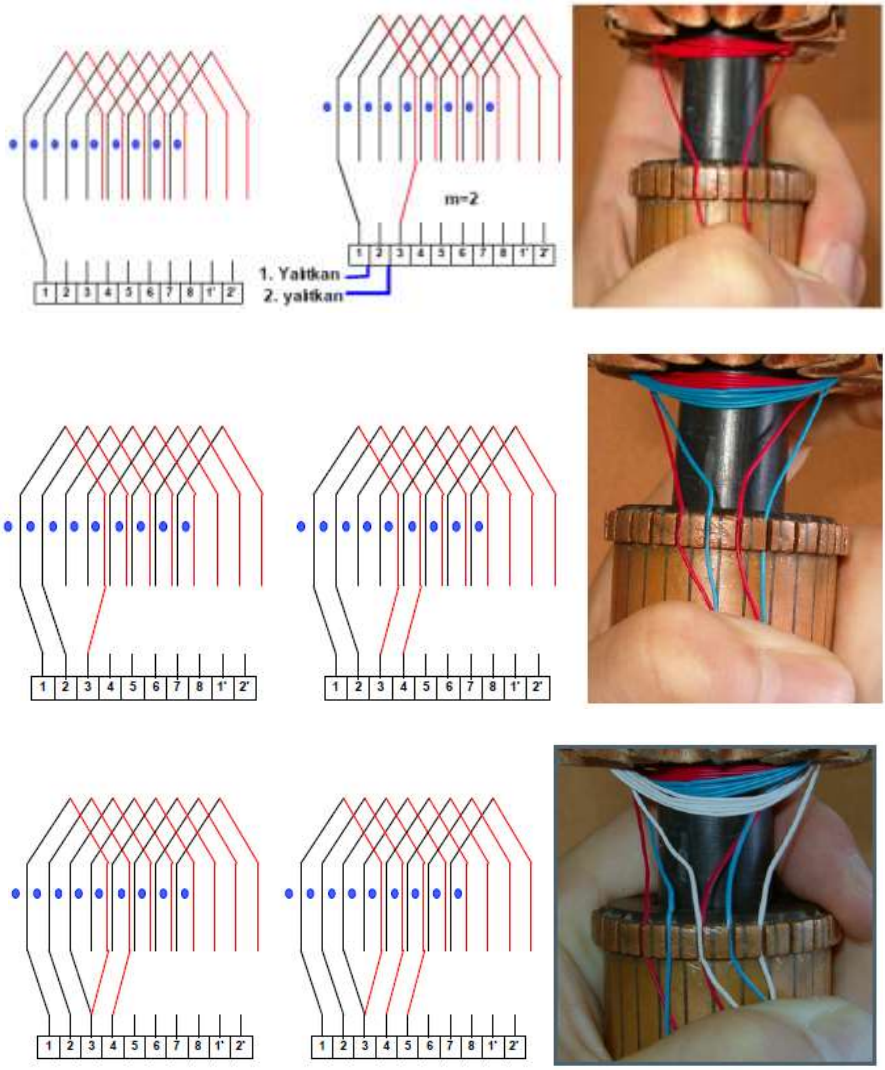
$$2a = 2p.|m| = 4.1 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{28}{14} = 2$$



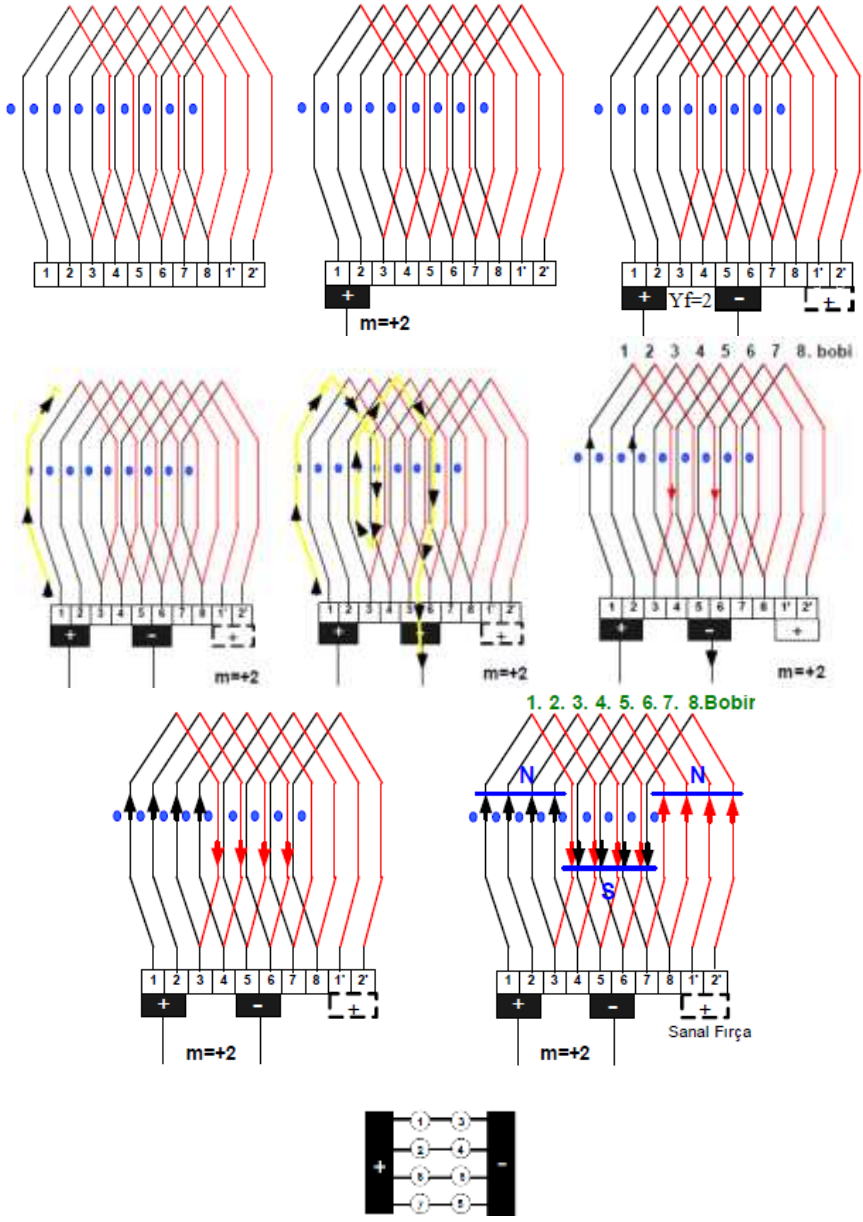
Şekil 0.51 x=14, K=28, 2P=4, m= +1

ÇOKLU PARALELE ENDÜVİ SARIMLARI (M=2,3,4)

5.1. Sarımın Yapım Şekli



Şekil 0.1 Çoklu paralel endüvi sarımı



Şekil 0.2 Çoklu paralel endüvi sarımı

5.2 Bobin Yanı u=1, Fırçalar Kutup Ekseninde

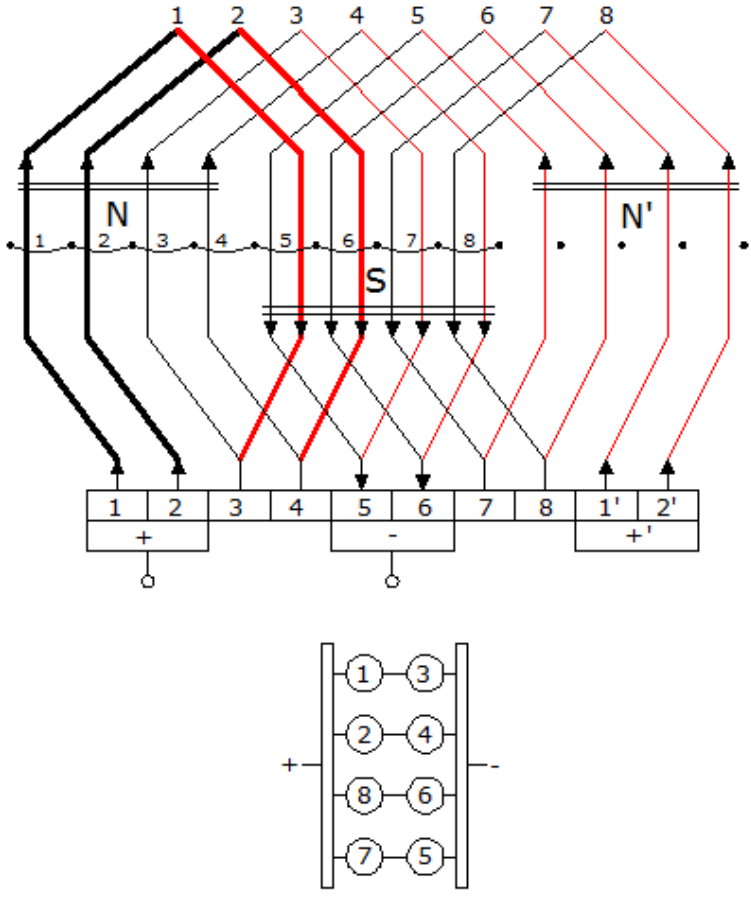
5.2.1 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2)

Örnek 54. x=8, K=8, 2P=2, m= +2
a) Paralel, b) Çoklu, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5)\; Y_K = m = 2$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 2 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.2 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.3 x=8, K=8, 2P=2, m= +2

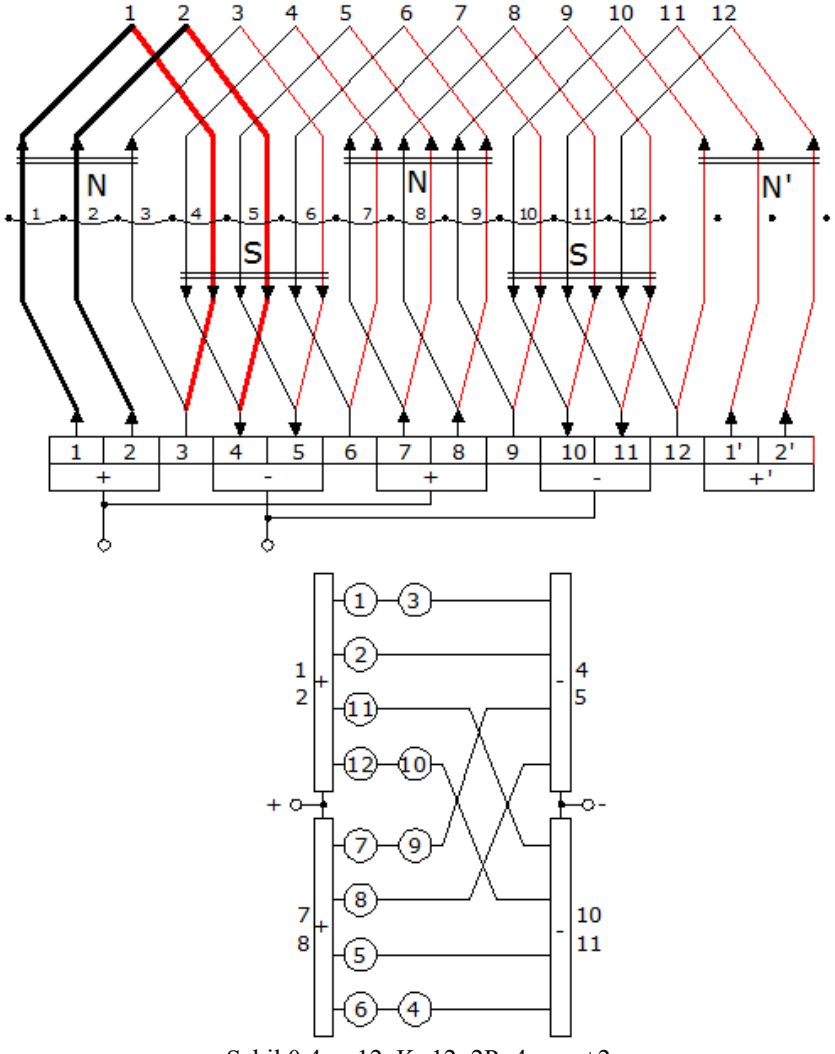
5.2.2 Çoklu İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2)

Örnek 55. x=12, K=12, 2P=4, m= +2

a) Paralel, b) Çoklu, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4) \qquad Y_K = m = 2 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 2 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.2 = 8 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.4 x=12, K=12, 2P=4, m= +2

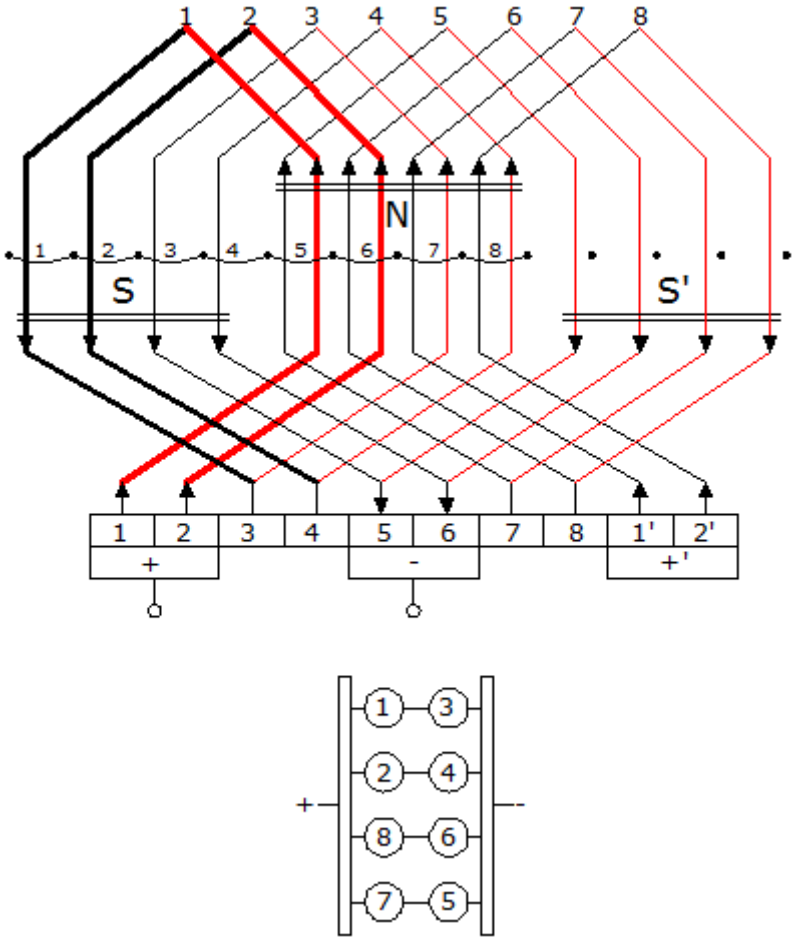
5.2.3 Çoklu Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-2)

Örnek 56. x=8, K=8, 2P=2, m= -2
a) Paralel, b) Çoklu, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{8}{2} = 4(1-5)\ Y_K = m = -2$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{8}{2} - 2 = 2$$

$$2a = 2p.|m| = 2.2 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.5 x=8, K=8, 2P=2, m= -2

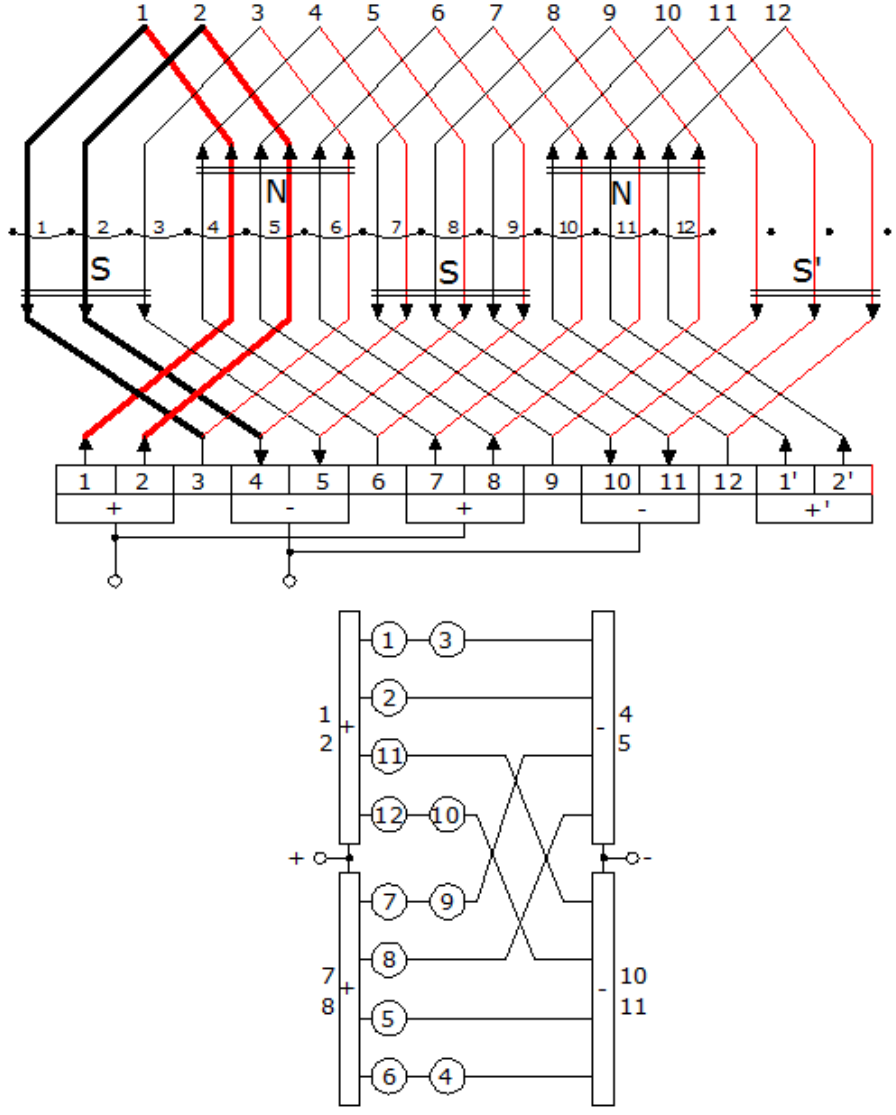
5.2.4 Çoklu Gerileyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-2)

Örnek 57. x=12, K=12, 2P=4, m= -2

a) Paralel, b) Çoklu, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{4} = 3(1-4) \quad Y_K = m = -2 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{4} - 2 = 1$$

$$2a = 2p.|m| = 4.2 = 8 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.6 x=12, K=12, 2P=4, m= -2

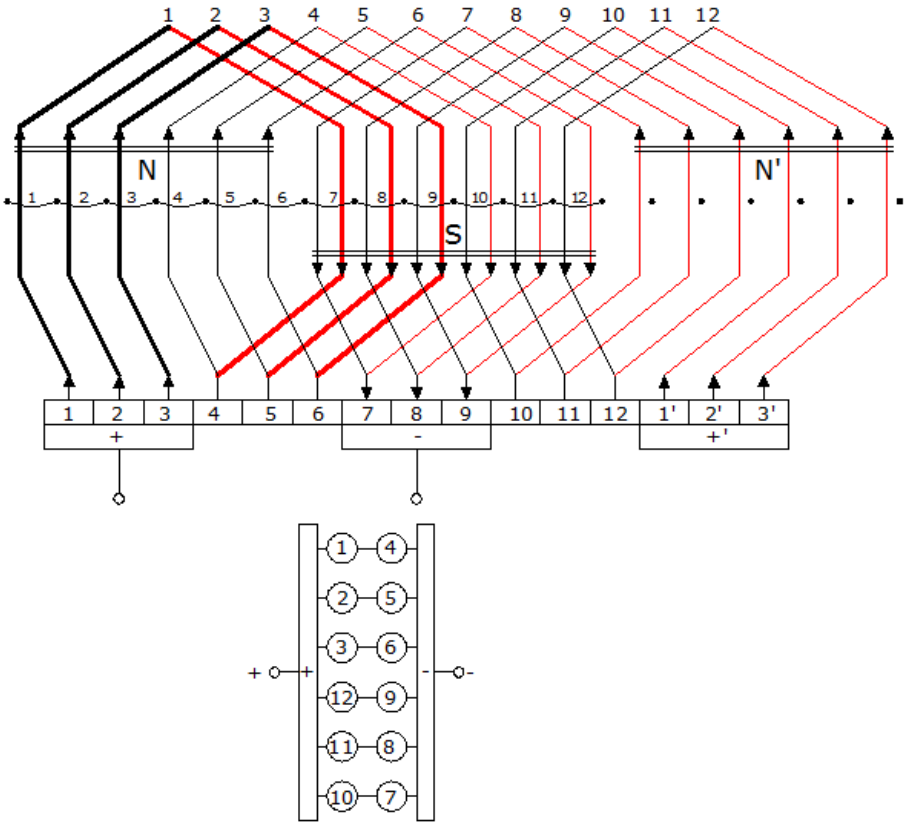
5.2.5 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+3)

Örnek 58. x=12, K=12, 2P=2, m= +3
a) Paralel, b) Çoklu, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) \;\; Y_K = m = 3$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 3 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.3 = 6 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.7 x=12, K=12, 2P=2, m= +3

5.2.6 Çoklu Gerileyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=-3)

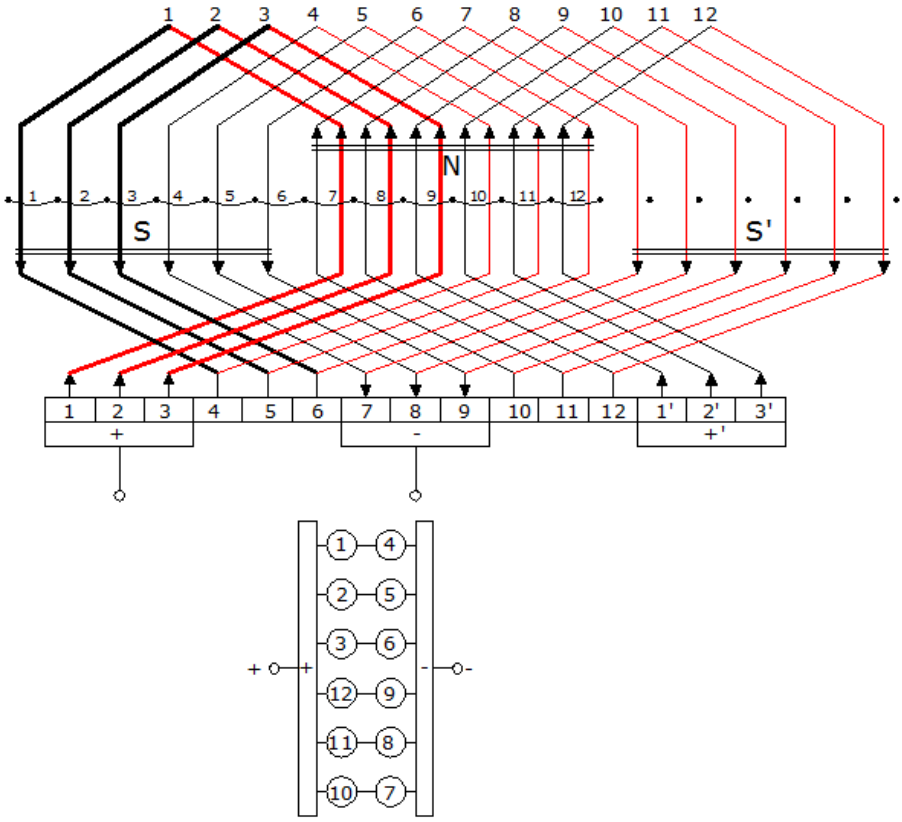
Örnek 59. x=12, K=12, 2P=2, m= -3

a) Paralel, b) Çoklu, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) Y_K = m = -3$$

$$Y_f = \frac{K}{2p} - |Y_K| = \frac{12}{2} - 3 = 3$$

$$2a = 2p.|m| = 2.3 = 6 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{12}{12} = 1$$



Şekil 0.8 x=12, K=12, 2P=2, m= -3

5.3 Bobin Yanı u=2, Fırçalar Kutup Ekseninde

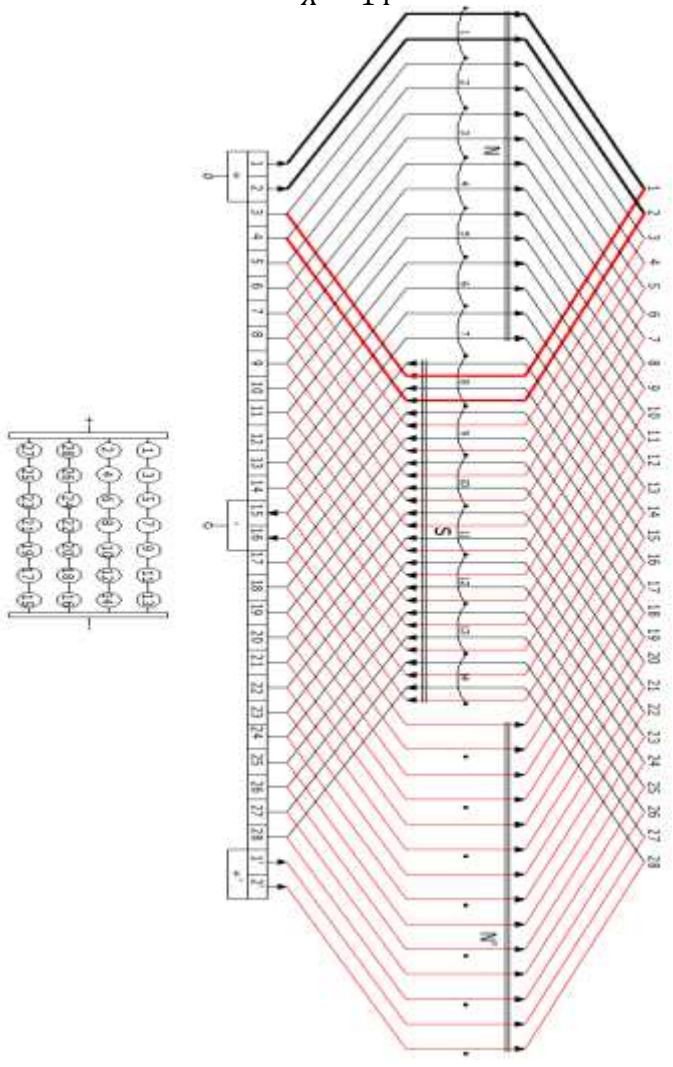
5.3.1 Çoklu İlerleyen 2 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2)

Örnek 60. x=14, K=28, 2P=2, m=+2

a) Paralel, b) Çoklu, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{14}{2} = 7(1-8) \qquad Y_K = m = 2 \qquad Y_f = \frac{K}{2p} - Y_K = \frac{28}{2} - 2 = 12$$

$$2a = 2p.|m| = 2.2 = 4 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{28}{14} = 2$$



Şekil 0.9 x=14, K=28, 2P=2, m=+2

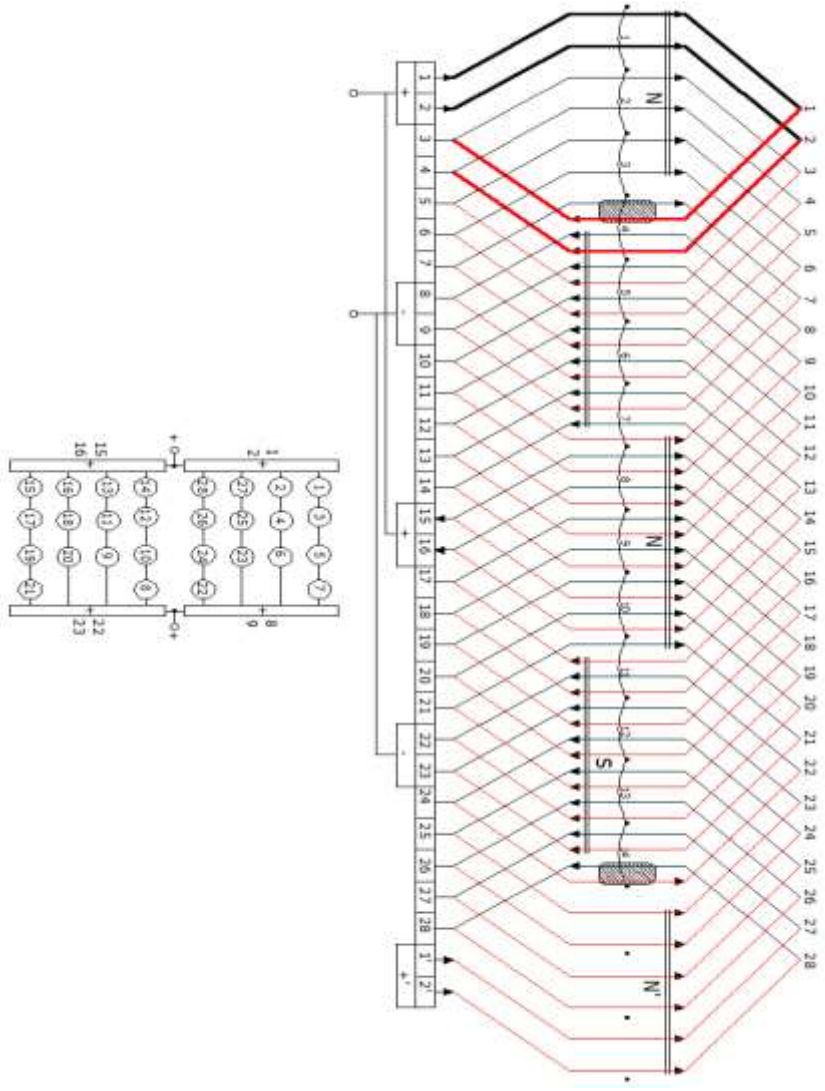
5.3.2 Çoklu İlerleyen 4 Kutuplu Endüvi Sarımları (m=+2)

Örnek 61. x=14, K=28, 2P=4, m=+2

a) Paralel, b) Çoklu, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{14-2}{4} = 3(1-4) \quad Y_K = 2 \quad Y_f = \frac{K}{2p} - Y_K = \frac{28}{4} - 2 = 5$$

$$2a = 2p.|m| = 4.2 = 8 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{28}{14} = 2$$



Şekil 0.10 x=14, K=28, 2P=4, m=+2

SERİ ENDÜVİ SARIMLARI

DC makinelerde seri sarım (wave winding), endüvi sargılarının rotor çevresinde dalga şeklinde dolaşacak biçimde düzenlendiği bir sarım türüdür. Bu yapıda sargılar, makine çevresini dolaşarak komütatör boyunca daha uzun bir yol izler ve sonuç olarak endüvi üzerinde genellikle yalnızca iki paralel akım yolu oluşur (Chapman, 2012: 193). Bu nedenle seri sarım, yüksek gerilim – düşük akım gerektiren DC motor ve jeneratörlerde tercih edilir.

Seri sarımda bobin uçları, komütatör segmentleri üzerinde belirli bir adım ilişkisiyle bağlanarak makine çevresinde "dalga" gibi ilerler. Bu topoloji, sargının tek bir akım yolundaymış gibi davranmasını sağlar. Makinenin kutup sayısına bakılmaksızın iki paralel yol oluşması, seri sarımın karakteristik özelliğidir (Fitzgerald, Kingsley ve Umans, 2003: 290).

Bu nedenle seri sarım:

- Yüksek gerilim üretir,
- Akım kapasitesi düşüktür,
- Sarım tel kesiti daha ince seçilir,
- Büyük iletken sayısı içermez,

Seri sarım, özellikle orta ve büyük güçlü DC jeneratörler, yüksek gerilimli küçük motorlar, enstrümantasyon tipi makineler ve tek yönlü gerilim kaynakları için uygundur.

Seri Sarımın Yapısı ve Bağlantı Düzeni

Seri sarımda bobinler, rotor üzerindeki oluklarda yer alır ve kolektör segmentlerine şu adımlarla bağlanır:

- Bir bobin, kolektör üzerinde belirli bir segmentten başlar.
- Bobinin diğer ucu, normal paralel sarımlardaki gibi yakın segmentlere değil, rotorun çevresinde ilerleyen daha uzak segmentlere bağlanır.
- Böylece bobinler, rotor çevresini gezip dalga benzeri bir form oluşturarak tekrar başlangıç bölgesine döner (Pyrhönen, Hrabovcová ve Scott, 2016: 241).

Bu yapıya wave (dalga) winding adı verilmesinin nedeni tam olarak bu geometridir.

Seri Sarım Türleri

Seri sarımlar, bobin adımının yönüne göre iki temel gruba ayrılır:

İlerleyen Seri Sarım (Progressive Wave): Bobinler komütatör üzerinde rotorun mekanik dönme yönüyle aynı yönde ilerleyecek biçimde bağlanır. Adım katsayısı m = +1, +2, +3… olabilir.

Gerileyen Seri Sarım (Retrogressive Wave): Bobin bağlanışı rotorun ters yönünde ilerler. Adım katsayısı m = –1, –2, –3… olarak kullanılır (Toliyat ve Kliman, 2004: 40).

Bu adım sayısı, bobinlerin komütatör üzerinde ne kadar "ilerlediğini" veya "gerilediğini" belirler.

Seri Sarımın Avantajları

- Seri sarımlar, belirli uygulamalarda oldukça verimlidir:
- Yüksek gerilim elde etme kapasitesi,
- Uygulanan kutup sayısından bağımsız iki paralel yol,
- Büyük makinalarda kolay ölçeklenebilirlik,
- Komütatör bölmesi sayısının artmasıyla düzgün gerilim üretimi,
- Küçük akım gereksinimi nedeniyle ince iletken kullanımı.

Bu avantajlar, seri sarımın özellikle büyük DC jeneratörlerde yaygın kullanılmasını sağlar (Say, 2005: 94).

Seri Sarımın Dezavantajları

- Akım kapasitesi düşüktür,
- Yüksek akım gerektiren uygulamalarda uygun değildir,
- Komütasyon hassastır,
- Sarım yapısı daha karmaşıktır.

Özellikle komütasyonda oluşan kıvılcım riskini azaltmak için kutup yardımcıları veya kompanzasyon sargıları sıkça kullanılır (Fitzgerald et al., 2003: 292).

Seri Sarımın Kullanım Alanları

- Orta ve büyük güçlü DC jeneratörler,
- Yüksek gerilim gerektiren küçük DC motorlar,
- Enstrümantasyon ve ölçüm motorları,
- Hassas kontrol gerektiren özel makineler,
- Bazı kompound motor tasarımları.

Bu tip sarımda bobinin giriş ucuyla çıkış ucu arasında yaklaşık olarak bir çift kutup ya da elektriksel bakımdan 360°'lik açı vardır. Birinci bobinin çıkış ucu, çıkış kenarından yaklaşık olarak oyuk adımı kadar ilerideki bobinin giriş kenarıyla birlikte bağlanır.

Paralel tip sargılarda paralel kol sayısı arttıkça DC makinenin verdiği ya da çektiği akım artar.

Seri tip sargılarda ise paralel kol sayısı azdır. Birbirine seri bağlanan bobin sayısı arttıkça DC makinenin vereceği ya da dayanacağı akım azalmakta öte yandan gerilim ise artmaktadır.

Seri tip sarımın bir diğer faydası ise fırça sayısının daha az olmasıdır. Bu sayede kolektörde sürtünme az olmakta, fırça ve kolektör düzeneği daha uzun ömürlü olmaktadır.

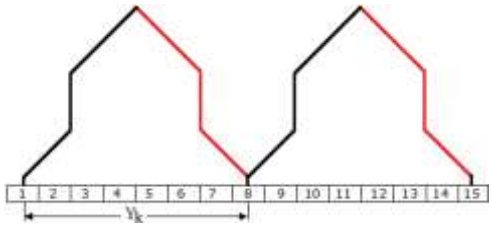
- Seri tip sarımlar ***en az dört kutuplu*** olmalıdır.
- Kutup sayısı ne olursa olsun fırça sayısı ise ***her zaman 2 olmalıdır***.
- Fırçalar birbirine yakın olarak yerleştirilir.
- Bir endüvi seri sarımın uygulanabilmesi için Yk'nın tam sayı çıkması gereklidir.
- Yalnız u=1 olan sarım yapılabilir. u = 2 – 3… olduğunda Yk değeri oluk sayısından fazla çıktığından sarım yapılamaz.
- Seri tip sarımlarda kolektör adımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Y_K = \frac{K + m}{p}$$

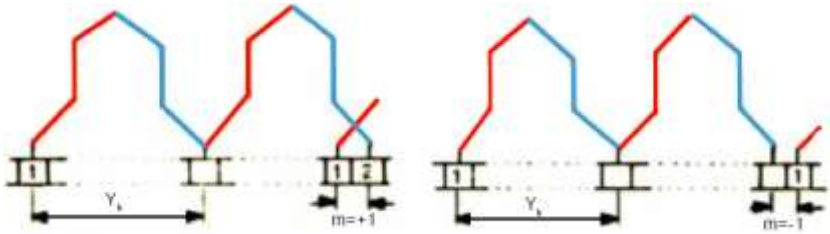
Seri sarımda, birbirine seri bağlanan bobinler endüvi çevresinde tüm kutupların altında dolaştıktan sonra sonuncu bobinin çıkış ucu, birinci bobinin giriş ucunun bağlandığı kolektör diliminin sağındaki ya da solundaki dilime bağlanır.

Son bobinin çıkış ucuyla ilk bobinin giriş ucunun bağlandığı kolektör dilimleri arasındaki mika sayısı çokluk katsayısını (m) belirtir.

Çokluk katsayısı (m) "+" olarak kabul edilirse son bobinin çıkış ucu, ilk bobinin giriş ucunun sağındaki dilime bağlanır. Bu bağlantı, paralel tip endüvi sarımlarında "m" değerinin "-" olduğu zamanki gibi çapraz olur. Çokluk katsayısının (m) "+" olarak alındığı sarımlara **ilerleyen seri sarım** denir. Çokluk katsayısının (m) "-" olarak alındığı sarımlarda ise son bobinin çıkış ucu, ilk bobinin giriş ucunun solundaki dilime bağlanır ve buna da **gerileyen seri sarım** denir.



Şekil 0.1 Seri endüvi sarımında bobin bağlantısı



Şekil 0.2 İlerleyen ve gerileyen seri sarımın yapısı

6.1 Basit Seri Endüvi Sarımı

Bu yöntemde birinci bobinin çıkış ucu, hemen yanındaki bobinin giriş ucuyla değil, bir çift kutup (elektriksel olarak 360°) atlandıktan sonra gelen bobinin girişiyle birleştirilerek kolektör dilimine lehimlenir. Diğer bobinler de bu şekilde sarılır. Son bobinin çıkış ucu birinci bobinin giriş ucuyla birleştirilerek işlem tamamlanır. Basit seri endüvi sarımında **çıkış ile giriş bağlanır**.

$$Y_K = \frac{K+m}{P} \qquad Y_f = \frac{K-2p.|m|}{2p} \qquad 2a = \boldsymbol{P}.|m|$$

Örnek 62. x=7, K=7, 2P=4, m=+1

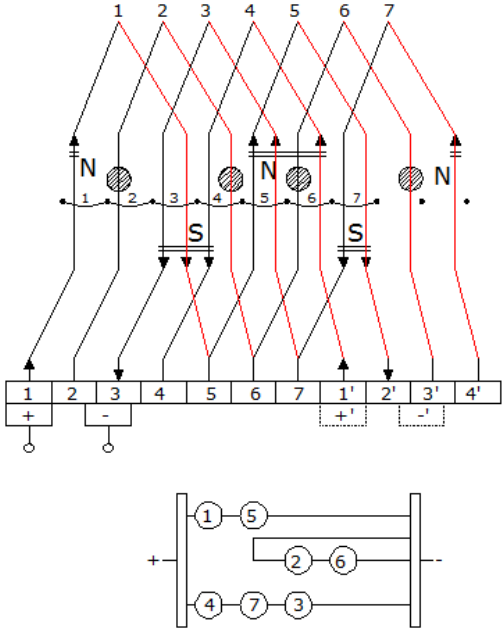
a) Seri, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Uzun adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K+m}{P} = \frac{7+1}{2} = 4(1Ç-5G)$$

(Yk tamsayı çıktığı için basit seri endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{7+1}{4} = 2(1-3) \qquad 2a = P.|m| = 2.1 = 2$$

$$Y_f = \frac{K-2p.|m|}{2p} = \frac{7-4.1}{4} = 0{,}75 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{7}{7} = 1$$



Şekil 0.3 x=7, K=7, 2P=4, m=+1

Örnek 63. x=8, K=8, 2P=4, m=+1 (Sarım uygulanamaz)
a) Seri, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Uzun adımlı endüvi sarımı.

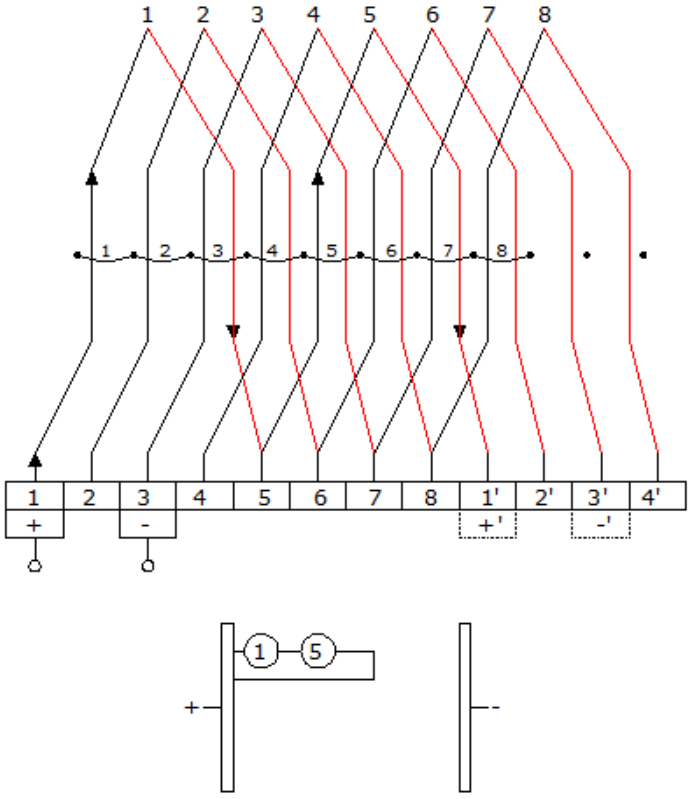
$$Y_K = \frac{K+m}{P} = \frac{8}{2} = 4(1-5)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{8}{4} = 2(1Ç - 3G)$$

$$Y_f = \frac{K - 2p.|m|}{2p} = \frac{8-4.1}{4} = 1$$

$$2a = P.|m| = 2.1 = 2 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{8}{8} = 1$$



Şekil 0.4 x=8, K=8, 2P=4, m=+1 (Sarım uygulanamaz)

Örnek 64. x=9, K=9, 2P=4, m=+1

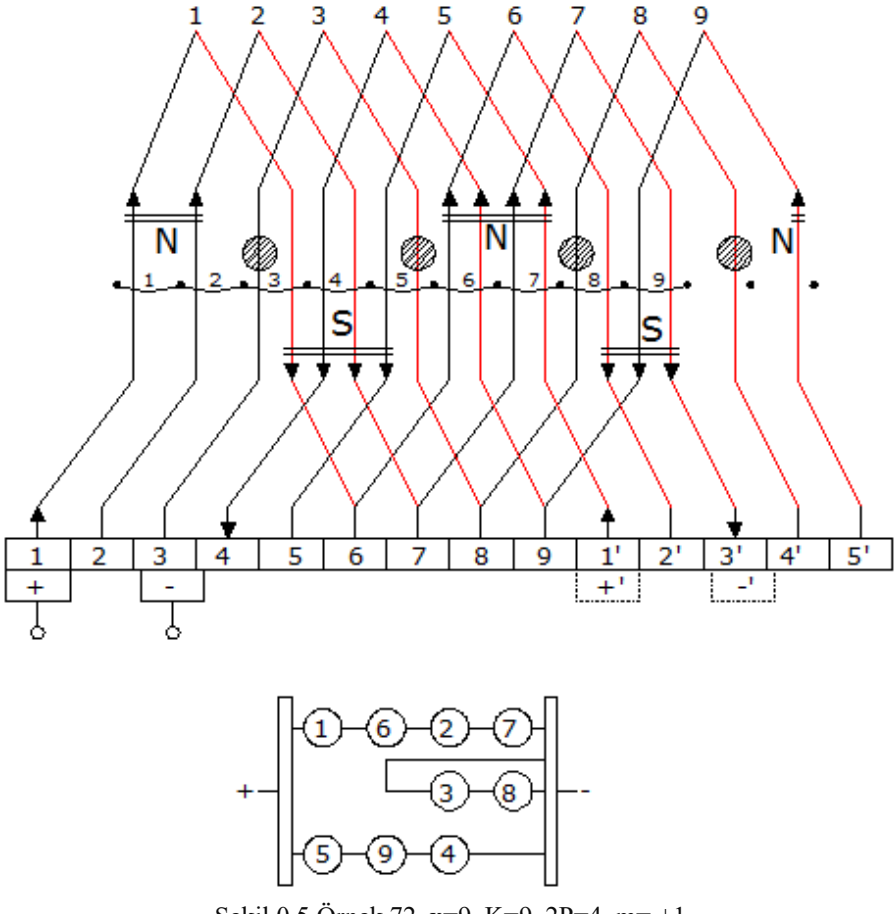
a) Seri, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K+m}{P} = \frac{9+1}{2} = 5(1-6)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{9-1}{4} = 2(1Ç - 3G) \qquad 2a = P.|m| = 2.1 = 2$$

$$Y_f = \frac{K-2p.|m|}{2p} = \frac{9-4.1}{4} = 1{,}25 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{9}{9} = 1$$



Şekil 0.5 Örnek 72. x=9, K=9, 2P=4, m= +1

Örnek 65. x=9, K=9, 2P=4, m=-1

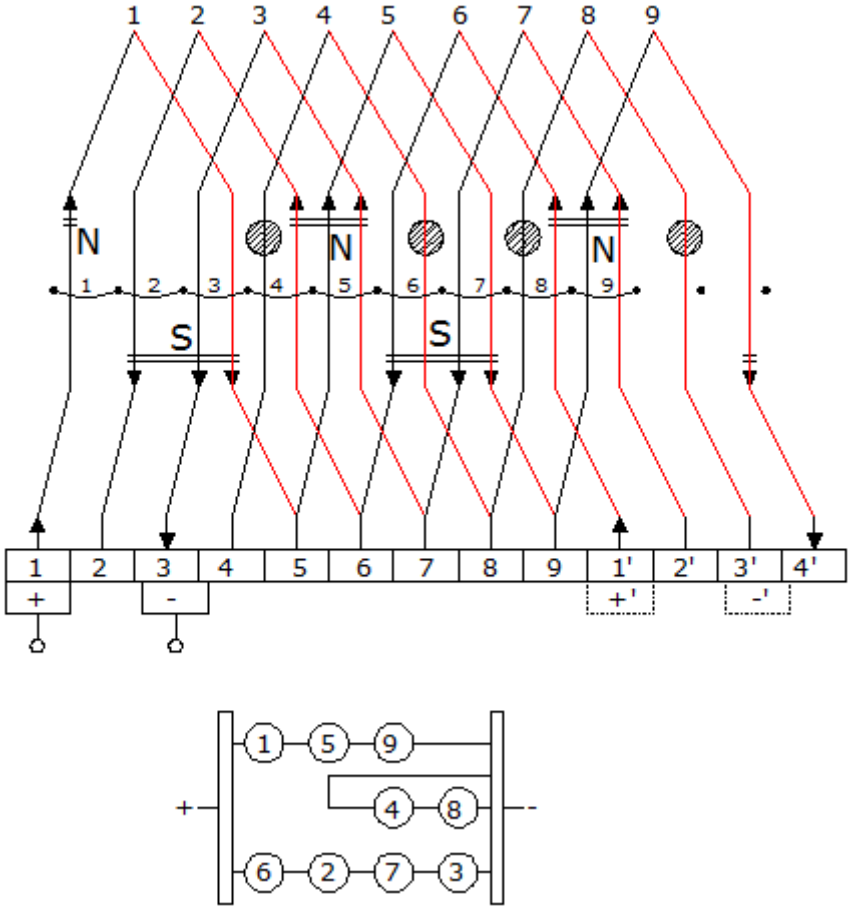
a) Seri, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K+m}{P} = \frac{9-1}{2} = 4\ (1-5)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{9-1}{4} = 2(1Ç - 3G) \qquad 2a = P.|m| = 2.1 = 3$$

$$Y_f = \frac{K-2p.|m|}{2p} = \frac{9-4.1}{4} = 1{,}25 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{13}{13} = 1$$



Şekil 0.6 x=9, K=9, 2P=4, m= -1

Örnek 66. x=13, K=13, 2P=4, m=+1

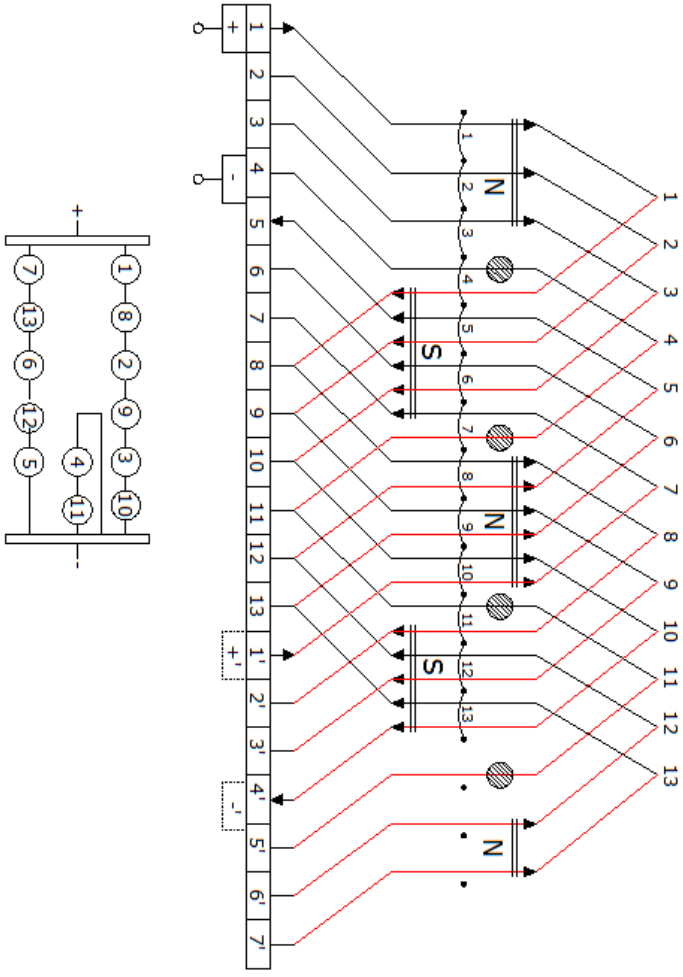
a) Seri, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K \mp m}{P} = \frac{13+1}{2} = 7\ (1-8)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{13-1}{4} = 3(1-4) \qquad 2a = \boldsymbol{P}.|m| = 2.1 = 2$$

$$Y_f = \frac{K - 2p.|m|}{2p} = \frac{13-4.1}{4} = 2{,}25 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{13}{13} = 1$$



Şekil 0.7 x=13, K=13, 2P=4, m=+1

Örnek 67. x=13, K=13, 2P=4, m=-1

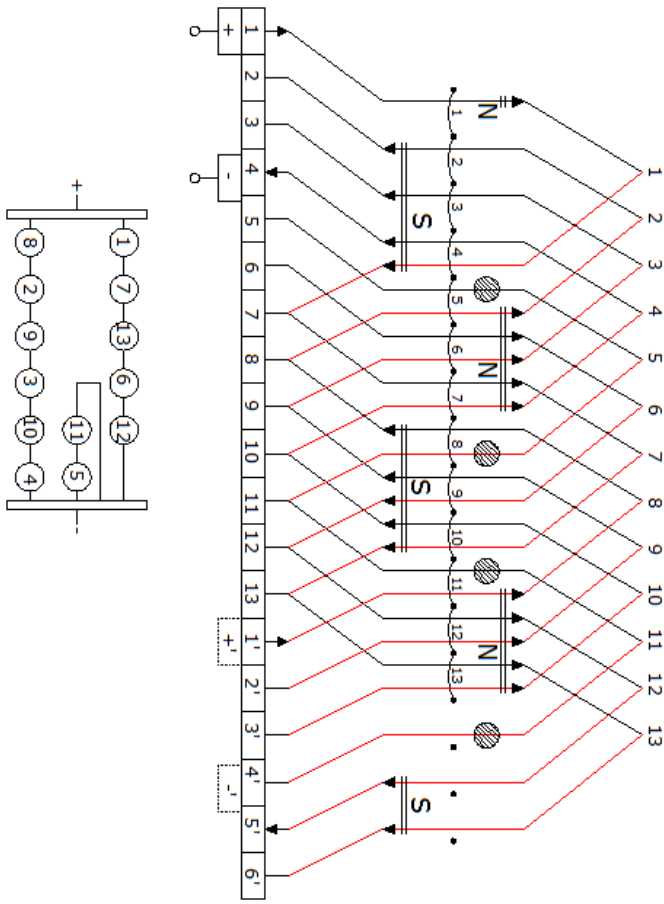
a) Seri, b) Basit, c) Gerileyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K \mp m}{P} = \frac{13-1}{2} = 6\ (Çıkış\ 1 - Giriş\ 7)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{13-1}{4} = 3(1-4) \qquad 2a = \boldsymbol{P}.|m| = 2.1 = 3$$

$$Y_f = \frac{K - 2p.|m|}{2p} = \frac{13-4.1}{4} = 2{,}25 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{13}{13} = 1$$



Şekil 0.8 x=13, K=13, 2P=4, m=-1

Örnek 68. x=7, K=14, 2P=4, m=+1 (Sarım uygulanamaz)
a) Seri, b) Basit, c) İlerleyen adımlı, d) Fırçalar kutup ekseninde, e) Sağa açılımlı, f) Kısa adımlı endüvi sarımı.

$$Y_K = \frac{K \mp m}{P} = \frac{14}{2} = 7(1-8)$$

8. Oluk olmadığından sarım uygulanamaz.

6	12	(1-7)
7	14	(1-8)
8	16	(1-9)
9	18	(1-10)
10	20	(1-11)

Görüldüğü gibi seri sarımlarda u=2 olan sarım yapılamaz.

6.2 Çoklu Seri Endüvi Sarımı

Endüvideki sonuncu bobinin çıkış ucu, bir devir yaptıktan (360°'lik açı kadar ilerledikten) sonra, birinci bobinin giriş ucunun bağlandığı kolektör diliminin hemen yanına değil de "m" çokluk katsayısına göre 2 ya da 3 kolektör dilimi sağına ya da soluna bağlanıyorsa bu tip sarıma çoklu seri sarım denir.

Çoklu seri sarımda çokluk katsayısı (m) 1'den büyüktür. Çokluk katsayısı (m) fırçaların basacağı kolektör dilimi sayısını ifade eder. Aynı zamanda endüvideki son bobinin çıkış ucunun, ilk bobinin giriş ucunun yanındaki yanında bulunan hangi dilime bağlanacağını da belirtir.

Basit seri sarımda Yk çokluk katsayısı (m) olarak ±1 olarak alınıyordu. Çoklu seri sarımda ise 2, 3 ya da 4 olarak alınabilir.

Eğer "m" değeri "+" olarak alınırsa buna ilerleyen seri sarım, "-" olarak alınırsa buna gerileyen seri sarım adı verilir.

Çoklu paralel sarımlarda olduğu gibi bu tip sarımda da sargı kendi içinde bir ya da iki kez kapanabilir. Sargının kaç kez kapandığını oyuk adımı (Yk) değerinden anlayabiliriz. Yk tek sayı olarak bulunmuşsa 1 defa kapanan sargı, çift sayı olarak bulunmuşsa 2 defa kapanan sargı elde edilir.

Endüvinin oyuk sayısı (x) ve çift kutup sayısı (P) çift sayıysa P=10'a kadar olan çeşitli çift kutup sayıları için bir kez kapanan çoklu seri sarım yapmak mümkündür.

Çoklu seri sarım paralel kol sayısını artırmak için yapılmaktadır.

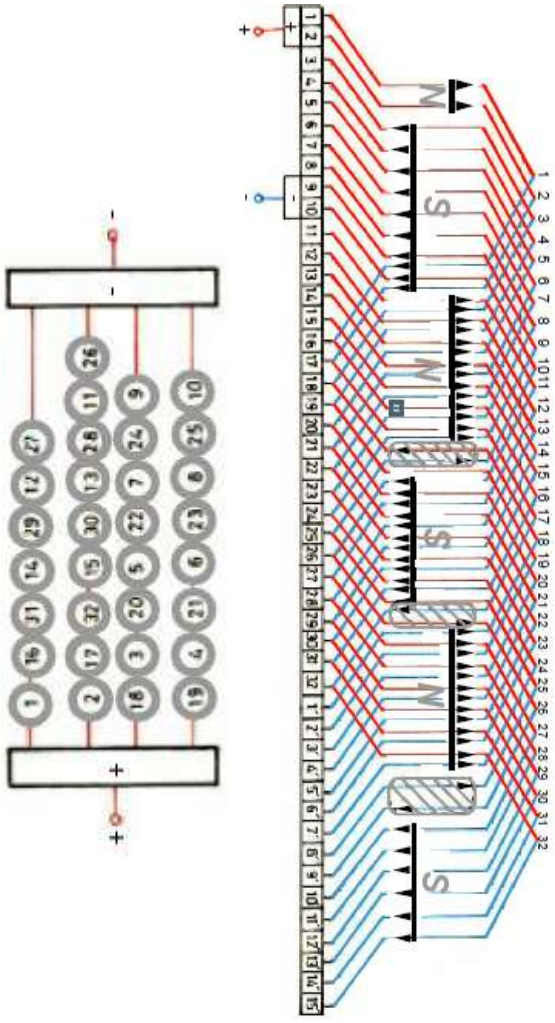
Örnek 69. x=16, K=32, 2P=4, m=-2 Çoklu seri endüvi sarımını yapınız. (Sağa açılımlı), kısa adımlı, gerileyen sarım

$$Y_K = \frac{K \mp m}{P} = \frac{32-2}{2} = 15\ (1-16)$$

(Yk değeri tamsayı çıktığı için basit seri tip endüvi sarımını yapmak mümkündür. Sonuç tek sayı çıktığı için sargı bir kez kapanır.)

$$Y_X = \frac{X \mp q}{2p} = \frac{16}{4} = 4(1-5) \qquad 2a = \boldsymbol{P}.|m| = 2.2 = 4$$

$$Y_f = \frac{K - 2p.|m|}{2p} = \frac{32-4.1}{4} = 2{,}25 \qquad u = \frac{K}{X} = \frac{32}{16} = 2$$



Şekil 0.9 x=16, K=32, 2P=4, m=-2

SARGILARIN OYUKLARA YERLEŞME ÖZELLİKLERİ

7.1 Sarımın Endüviye Sarılış Tipleri

7.1.1 Klasik Tip

Bobinlerin birbiri ardına oluklara yerleştirildiği sarım tipidir. Birinci bobin sarıldıktan sonra ikinci bobinin giriş tarafı birinci bobinin giriş tarafının yanındaki oluğa, çıkış tarafı ise birinci bobinin çıkış tarafının ilerleme yönüne göre sağına veya soluna sarılmaktadır. Resim 2.1'de klasik tipteki sarımın görünüşü yer almaktadır.



Şekil 0.1 Klasik tip sarım

7.1.2 V Tipi

Birinci bobin sarıldıktan sonra ikinci bobinin giriş tarafı, birinci bobinin çıkış tarafının bulunduğu oluktan başlıyorsa bu sarım tipine V tipi sarım denir. Sarım bittikten sonra endüviye mili tarafından bakıldığında son sarılan iki bobinin v harfi şeklinde durduğu görülür.

7.1.3 H Tipi

Birinci bobin hesaplanan oluk adımına (Yx) göre sarıldıktan sonra ikinci bobin aynı adımla ona paralel oluşturacak şekilde sarılır. Yani ikinci bobin birincinin simetrisi durumundadır. Üçüncü bobinin giriş kenarı, ikinci bobinin çıkış kenarına yatırılır ve aynı oluk adımında ilerleme yönü de dikkate alınarak devam edilir.

Sarım bittikten sonra endüviye mili tarafından bakıldığında son sarılan iki bobinin H harfi şeklinde durduğu görülür. Resim 2.2'de H tipi sarımda karşılıklı bobinlerin duruşu görülmektedir.



Şekil 0.2 H tipi sarım

7.1.4 Yıldız Tip

Bu sarıma başlamadan önce bobin iletkenlerinin tümünün sarım sayılarına göre uzunlukları hesaplanarak kesilip hazırlanması gerekir. Tüm iletkenler kollektör dilimlerindeki yerlerine yerleştirilir ve yerinden oynamayacak şekilde bir ip ile veya tiret bezi ile sarılır. İletkenlerin çıkış uçları endüvinin oluklarından geçirilerek kollektör bulunmayan tarafına doğru uzatılır.

Sarıma herhangi bir bobinden başlanabilir. İlk oluğa yatırılan bobinler aynı anda tutularak diğer bobinlerin üzerinden geçirilir ve oluk adımı kadar ilerideki oluktan geçirilerek kollektör tarafına uzatılır. Daha sonra ilk sarılan bobinden bir önceki bobin alınarak işlem tekrarlanır. Tüm bobinler bir tur sarıldıktan sonra ikinci tura başlanır. Resim 2.3'te birer sipiri sarılmış yıldız tip sarımın kollektörsüz taraftan görünüşü yer almaktadır. Bobinler bitene kadar bu işlem tekrarlanır. Böylece tüm bobinler aynı anda sarılmış olur. Sarım işi bittikten sonra bobinlerin çıkışları kollektöre bağlanır.



Şekil 0.3 Yıldız tip sarım

7.1.5 Sepet (Çift Yıldız) Tip

Bu sarım, yıldız tipi sarımın iki yönlü olarak sarılmasından meydana gelir. Bobinlerin uzunluklarına göre hazırlanmış iletkenler, kollektör dilimlerindeki yerlerine yerleştirilir ve yerinden oynamayacak şekilde bir ip ile veya tiret bezi ile sarılır. İletkenlerin çıkış uçları endüvinin oluklarından geçirilerek kollektör bulunmayan tarafına doğru uzatılır.

Sarıma herhangi bir bobinden başlanabilir. İlk oluğa yatırılan bobinler aynı anda tutularak diğer bobinlerin üzerinden atlanır ve oluk adımı kadar ilerideki oluktan geçirilerek bobinlerin sipir sayısının yarısı sarılır. Geri kalan sipirler ilk sarım yönünün tersine sarılarak sarım bitirilir. Ters yönde sarılan kısmın çıkış kenarı ile ilk sarılan kısmın çıkış kenarları aynı oluğa yerleştirilir. Sarım işi bittikten sonra bobinlerin çıkışları kollektöre bağlanır.

7.1.6 Mekik Tip

Bu sarım tipinde bir oluğa yerleşen bobinlerin uzunluklarının aynı olması sağlanarak balans avantajı edilmiştir. Mekik tipi sarım, aynı oluğa yerleşen bobinleri birbiri ardına sararak gerçekleştirilmektedir.

Birinci bobin oluk adımına göre sarıldıktan sonra aynı oluğa yerleşecek olan diğer bobin endüvinin ters tarafından geçecek şekilde yine aynı oluklara sarılmaktadır. Böylece aynı büyüklükteki iki bobin, endüvi milinin iki tarafına sarılmış olur ve endüvi dönüşünde oluşacak merkezkaç kuvveti dengelenir. Resim 2.4'te mekik tip sarıma başlanmış endüvi yer almaktadır. Sarım bittikten sonra endüviye mili tarafından bakıldığında son sarılan iki bobinin mekik şeklinde olduğu görülür.

Bu sarım tipinde bir oluğa yerleşen bobinlerin uzunluklarının aynı olması sağlanarak balans avantajı edilmiştir. Mekik tipi sarım, aynı oluğa yerleşen bobinleri birbiri ardına sararak gerçekleştirilmektedir.
Birinci bobin oluk adımına göre sarıldıktan sonra aynı oluğa yerleşecek olan diğer bobin endüvinin ters tarafından geçecek şekilde yine aynı oluklara sarılmaktadır. Böylece aynı büyüklükteki iki bobin, endüvi milinin iki tarafına sarılmış olur ve endüvi dönüşünde oluşacak merkezkaç kuvveti dengelenir. Resim 2.4'te mekik tip sarıma başlanmış endüvi yer almaktadır. Sarım bittikten sonra endüviye mili tarafından bakıldığında son sarılan iki bobinin mekik şeklinde olduğu görülür.



Şekil 0.4 Mekik tip sarım

STATOR SARIMLARI

Stator, döner elektrik makinelerinin sabit kısmını oluşturan ve makinenin elektromanyetik davranışını belirleyen temel bileşendir. Yapısı gereği hem manyetik akının üretildiği hem de rotor ile manyetik etkileşimin sağlandığı ana unsurdur. Stator; manyetik nüve, oluklar, sargılar, yalıtım yapıları ve taşıyıcı gövdeden oluşur (Chapman, 2012: 232–234).

Stator nüvesi, manyetik kayıpları azaltmak amacıyla ince silisli çelik levhaların laminasyon hâlinde paketlenmesiyle oluşturulur. Laminasyon yapısı, özellikle girdap akımı kayıplarını azaltarak yüksek verimli elektromanyetik dönüşüm sağlar (Guru ve Hiziroglu, 2001:78–80). Nüve malzemesinin manyetik geçirgenliği, kullanılan saçın silisyum oranı ve yüzey kaplamaları statorun performansını doğrudan etkiler (Bertotti, 1998: 45–52).

Stator tasarımında oluk geometrisi önemli bir parametredir. Oluk genişliği, derinliği, şekli ve yalıtım yapısı hem manyetik devre davranışını hem de sargı yerleşimini etkiler. Endüstride kapalı oluk, yarı kapalı oluk ve açık oluk tasarımları yaygındır (Hendershot ve Miller, 2010:165–170). Oluk biçimi; akı yoğunluğu, sargı ısınması, gürültü, moment dalgalanması ve hava aralığı harmoniklerinin oluşumu üzerinde belirleyici rol oynar (Vas, 1992: 98–104).

Dağıtılmış sargılar, manyetik alanın sinüsoidalliğini artırırken; konsantre sargılar daha kısa uç bağlantıları sayesinde kompakt yapı sağlar. Özellikle elektromobilite ve yüksek yoğunluklu motor tasarımlarında konsantre sargıların yaygınlaşması dikkat çekmektedir (Jahns, 2017:1039–1041; Zhu ve Howe, 2007: 747–750).

Termal yönetim, stator tasarımında kritik bir unsurdur. Sargılar üzerinden geçen akım, omik ısınmaya yol açar ve bu ısının nüve üzerinden dağıtılması gerekir. Yalıtım sınıfı, sargı verniği, oluk içi yalıtım kalınlığı ve gövdenin ısı yayma kapasitesi, statorun sıcaklık performansını doğrudan etkiler (Boglietti, Cavagnino ve Staton, 2009: 70–75). Yanlış tasarlanmış bir stator sargısı hem verim kaybına hem de izolasyon hasarı nedeniyle makine arızasına yol açabilir (Kulkarni ve Khaparde, 2004: 112–115).

Stator; rotor yapısı, hava aralığı geometrisi, kutup sayısı ve sargı düzeniyle birlikte değerlendirildiğinde elektrik makinesinin verimini, moment üretimini, gürültü seviyesini ve çalışma kararlılığını belirleyen temel elektromanyetik yapıyı oluşturur. Bu nedenle hem klasik AC makinelerde hem de modern yüksek performanslı elektrik motorlarında stator tasarımı, makinenin mühendislik başarısını doğrudan şekillendiren kritik bir unsurdur.



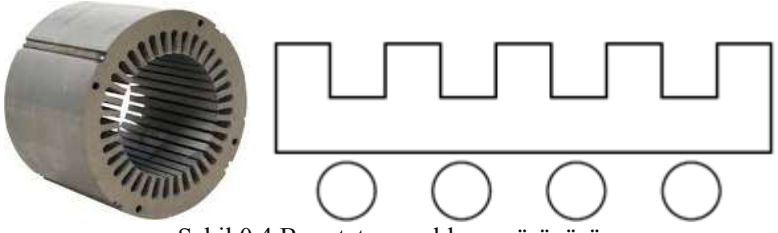
Şekil 0.1 Asenkron motor ve kesit görüntüsü



Şekil 0.2 Asenkron motor parçaları



Şekil 0.3 Stator ve rotor



Şekil 0.4 Boş stator oyukların görünüşü

8.1 El Tipi Stator Sarımı

El tipi sarım, bobinlerin önceden hazırlanmış kalıplar kullanılmaksızın doğrudan stator olukları üzerinde elle şekillendirilmesiyle oluşturulan bir sarım yöntemidir. Bu yöntem, özellikle:

- Küçük güçlü motorlarda,
- Eğitim laboratuvarlarında,
- Tamir ve bakım uygulamalarında,
- Prototip çalışmalarında

yaygın biçimde kullanılır (Say, 2005: 134–136).

El tipi sarımda stator oluklarına iletkenler tek tek yerleştirildiği için uygulama esnekliği yüksektir. Ancak sargıların geometrik bir kalıp tarafından yönlendirilmemesi, statorun elektromanyetik simetrisini sınırlayabilir ve endüstriyel seri üretimde istenen tekrarlanabilirliği azaltabilir (Chapman, 2012: 245–247).

Bu sarım türünde sargıların yerleştirilmesi sırasında yalıtım malzemelerinin dikkatli uygulanması gerekir. Özellikle oluk içi yalıtım, presbant kullanımı ve vernikleme işlemi, el tipi sarımın performansı için önemlidir (Theraja ve Theraja, 2005: 457–462).

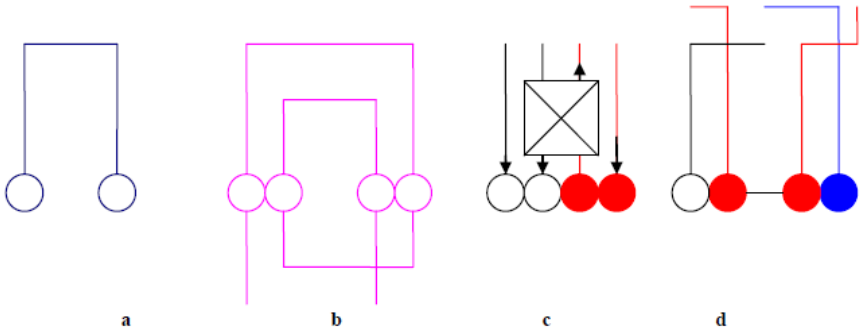
Terimler:

Bobin: Birbirlerine seri olarak bağlanmış iletkenlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.

Bobin Grubu: Birden fazla bobinin bir araya gelmesiyle oluşmuş, birbirlerine seri bağlanmış iletken demetlerine bobin grubu denir.

Kör Oluk: Bir oyuktaki bobinlerden geçen akımların yönlerinin birbirine zıt olması durumudur. Motorun çalışmasına bir faydası yoktur.

Kırık Bobin: Sarımda giriş ve çıkış kenarları vardır. Giriş kenarının birinci katta, çıkış kenarının ikinci katta olması durumudur.



Şekil 0.5 a) Bobin, b) Bobin grubu, c) Kör oyuk, d) Kırık bobin

Semboller:

Tablo 0.1 Semboller (MEB, 2011: 13)

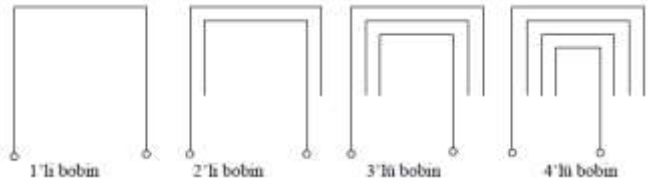
Sıra	Sembol	Anlamı
1	X	Oluk sayısı
2	2P	Tek kutup sayısı
3	P	Çift kutup sayısı
4	m	Faz sayısı
5	α	İki oyuk arasındaki elektriki açı
6	C	Bir kutup altında bir faza düşen oyuk sayısı (renk sayısı)
7	Yx	Oyuk adımı

Formüller:

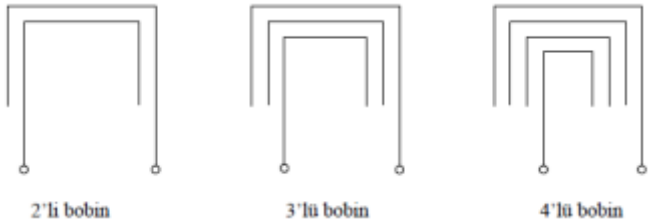
Bir kutup altında bir faza düşen oyuk sayısı veya renk sayısı	$C = \frac{X}{2p.m}$
İki oyuk arasındaki elektriki açı	$\propto = \frac{180.2p}{X}$
Oyuk adımı	$Y_X = \frac{X}{2p}$

2.1.1. El Tipi Sarım Şeması Çizim Tekniği

El tipi sarım Şeması çiziminde bobinlerin gösterilişi:



Şekil 0.6 El tipi sarım Şeması çiziminde bobinlerin gösterilişi



Şekil 0.7 El tipi sarım Şeması çiziminde bobinlerin gösterilişi

8.2.1 Dengeli El Tipi Sarım 2 Kutuplu (2P=2)

El tipi sarımda her oyukta bir bobin kenarı olduğundan 12/2= 6 bobinli bir sarım olacaktır. Sarım üç fazlı olduğundan her faza 6/3 = 2 bobin düşer. Aralarında kutup elde edilecek şekilde bağlanıp, her faza ait 2 uç ve 3 fazın 6 ucu dışarıya çıkarılır. Sarım şemalarının çiziminde her faz için bir renk kullanılır.

a. İki kutuplu el tipi sarımlar üç katlı olur.
b. Her kat bir fazı temsil eder.
c. Aynı faza ait bobin grupları kendi aralarında çıkış çıkışa olacak şekilde bağlanır.
d. Faz girişleri arasında 120° elektriki açı vardır. Bu açı geometrik açıya eşittir.
e. Bobin grupları arasındaki bağlantı açısı (elektriki açı) 180° dir ve geometrik açıya eşittir.
f. Sarım şeması çizilirken genellikle bobinlerin alt kısımları şemanın daha anlaşır olması için gösterilmez.
g. Faz girişleri bir renk atlanarak ya da oyuklar üzerinde 120º elektriki açı ile belirlenerek ikinci fazın girişi yapılır.

Örnek 1. X = 12 2P = 2 m= 3 fazlı olan asenkron motorun el tipi sarım şeması:

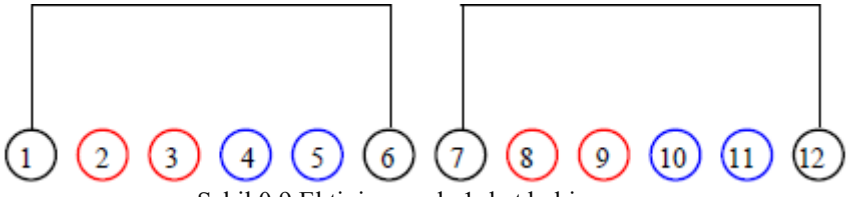
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$

Stator oyukları birer daire ile gösterilir. Hesaplanan C değerine göre oyukların renkleri belirlenir. İki kutuplu sarımlarda sarım dağıtılarak yapılır. Her faza ait bobin gruplarını aynı katta gösterebilmek için, ilk renkte oyukların yarısı sağ başa, yarısı sol başa çizilir



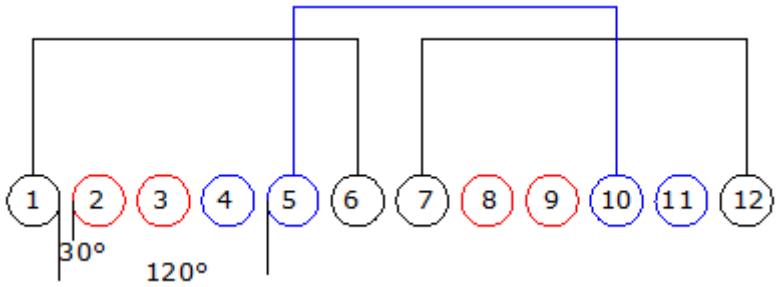
Şekil 0.8 Renkli stator oyukları

Sol taraf bobinin giriş tarafını, sağ taraf ise çıkış tarafını gösterecek şekilde ilk katın bobin kenarları çizilir

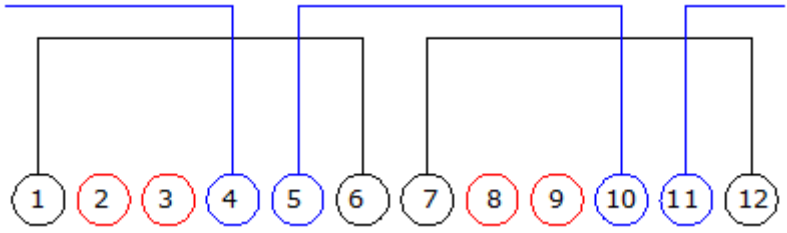


Şekil 0.9 El tipi sarımda 1. kat bobin sarımı

Birinci oyuktan başlanarak oyuklar arası 30° sayılır. (30°- 60°- 90°- 120°). Böylece ikinci katı oluşturacak, ikinci fazın ilk bobinin giriş kenarı belirlenir ve ikinci katın bobinleri de çizilir.

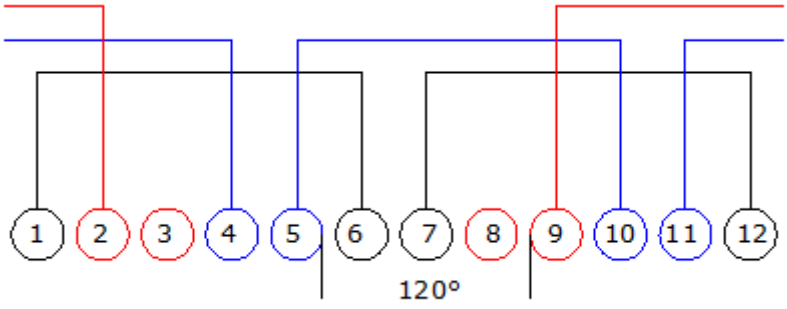


Şekil 0.10 El tipi sarımda 2. kat bobin sarımı

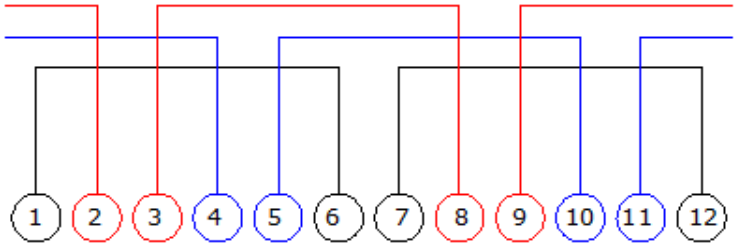


Şekil 0.11 El tipi sarımda 2. kat bobin sarımı

İkinci fazın girişinden sonrada 120° sayılarak, üçüncü kata ait bobinler çizilir.



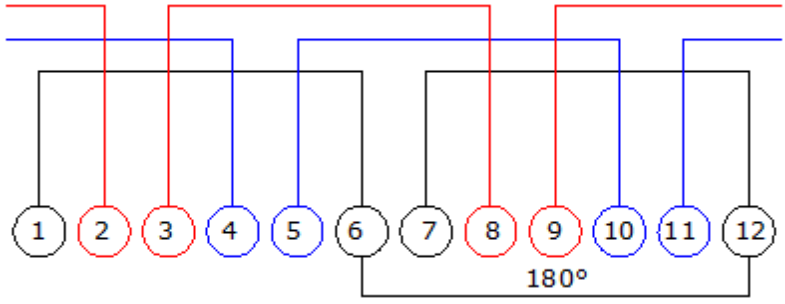
Şekil 0.12 El tipi sarımda 3. kat bobin sarımı



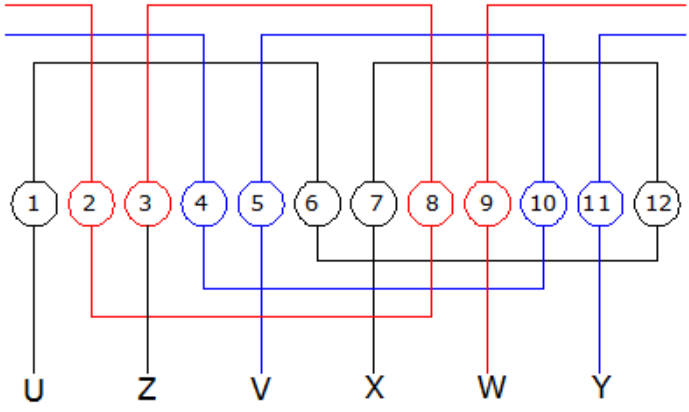
Şekil 0.13 El tipi sarımda 3. kat bobin sarımı

Bobinlerin sol kenarı girişi, sağ kenarı çıkışı temsil eder. İki kutuplu sargılarda çıkış- çıkışa bağlanır. Çıkış uçlarının doğru oyukta olup olmadığı giriş – çıkış arasının 180° olduğu sayılarak bulunur. Daha sonra bobinlerin giriş ve çıkış uçları çizilerek aşağıdaki gibi isimlendirilir.

1. Faz: Giriş ucu **U**, Çıkış ucu **X**
2. Faz: Giriş ucu **V**, Çıkış ucu **Y**
3. Faz: Giriş ucu **W**, Çıkış ucu **Z**



Şekil 0.14 El tipi sarımda alt bağlantı



Şekil 0.15 El tipi sarım

Sarım şemasının oklandırılması yapılırken akımın daima iki fazdan girdiği, üçüncü fazdan çıktığı kabul edilir.

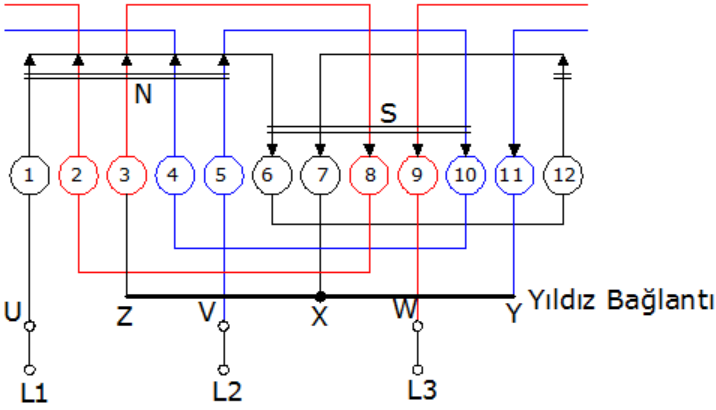
Örneğin;

U-V uçları giriş W ucu çıkış,

U-W uçları giriş V ucu çıkış,

V-W uçları giriş U ucu çıkış alınabilir.

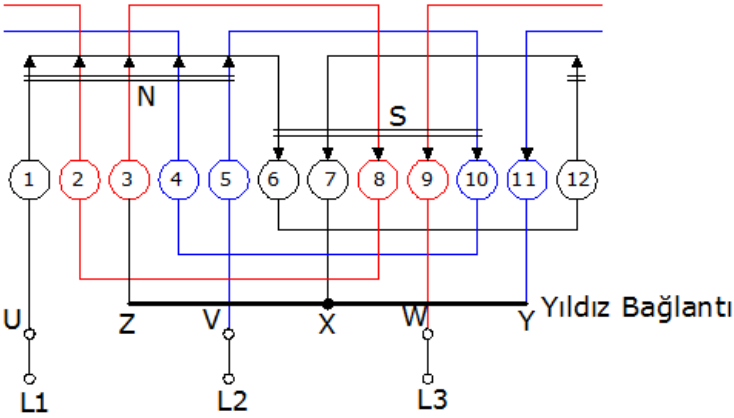
Kutuplaşmanın düzgün olması bakımından daima U-V uçları giriş, W ucu çıkış olarak alınır ve bobinler üzerinde akım yönleri ok işareti ile belirlenir.



Şekil 0.16

Örnek 1. X=12 2p=2 m=3

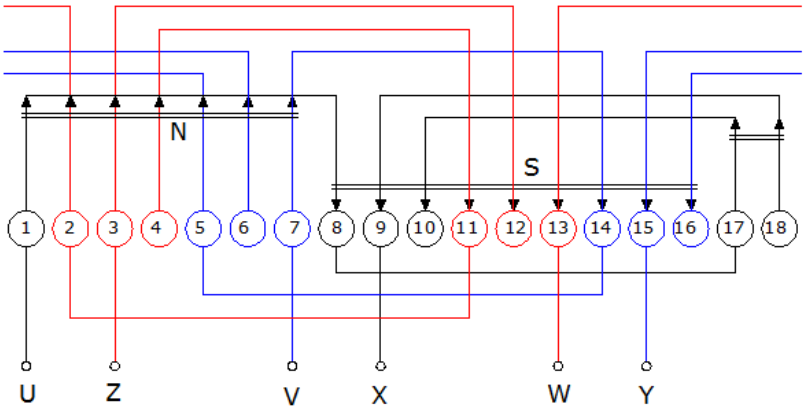
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



Şekil 0.17

Örnek 2. X=18 2p=2 m=3

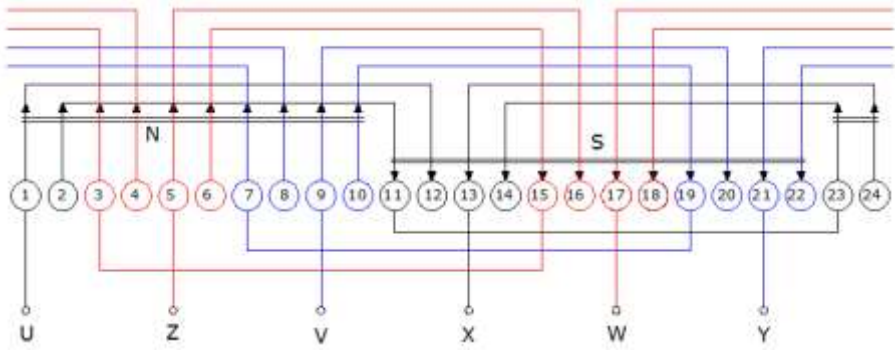
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{18}{2.3} = 3 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{18} = 20^o$$



Şekil 0.18 X=18 2p=2 m=3

Örnek 3. X=24 2p=2 m=3

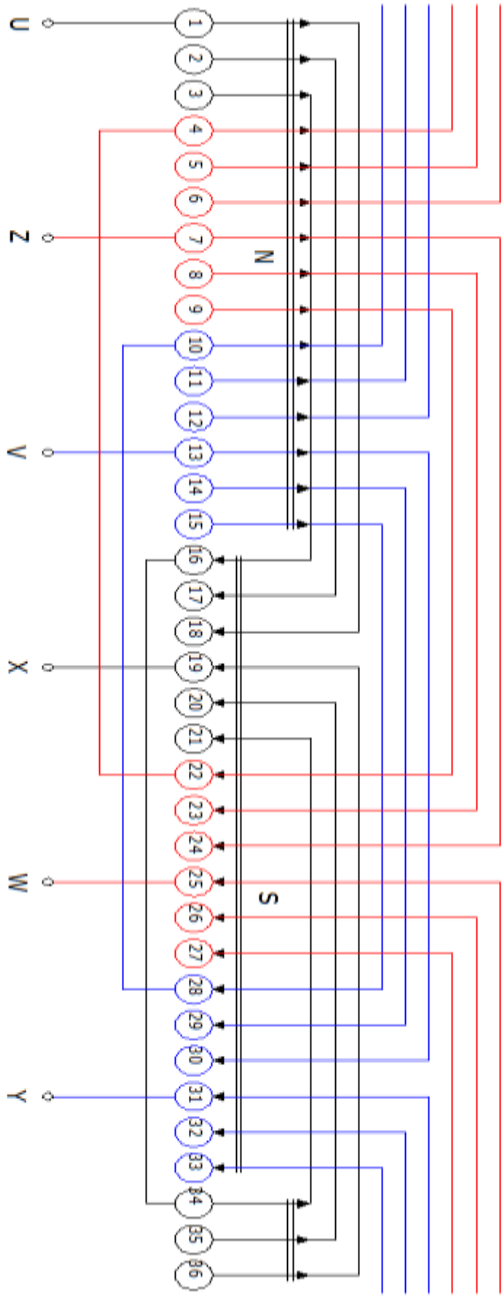
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{2.3} = 4 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{24} = 15^o$$



Şekil 0.19 X=24 2p=2 m=3

Örnek 4. X=36 2p=2 m=3

$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{36}{2.3} = 6 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{36} = 10^o$$

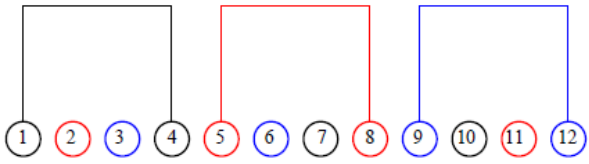


Şekil 0.20 X=36 2p=2 m=3

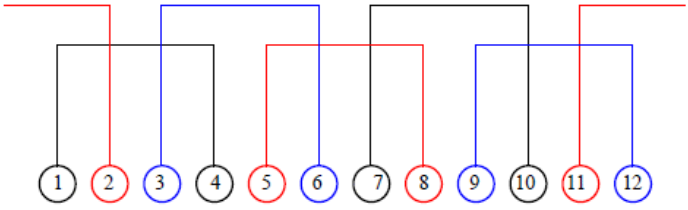
8.2.2 Dengeli El Tipi Sarım 2 Kutuplu (2P=4)

Özellikleri:

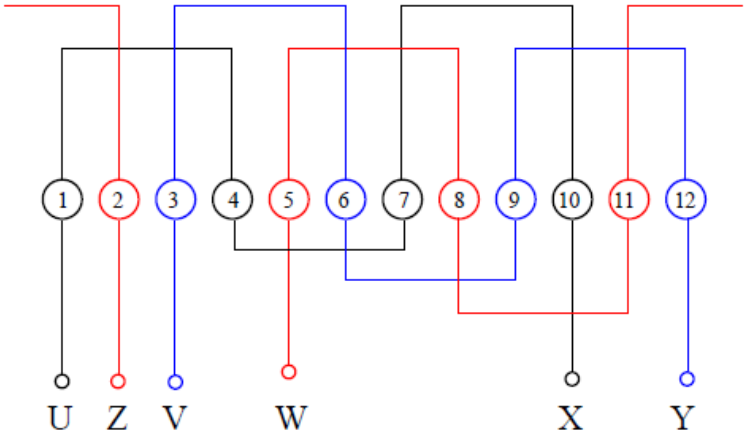
a. Dört kutuplu el tipi sargılar iki katlı olur.
b. Her katta, her faza ait birer bobin vardır.
c. Aynı faza ait bobin gruplarından birinin çıkış ucu, diğerinin giriş ucu ile birleştirilir (**Çıkış, girişe** bağlanır.).
d. Faz girişleri arasındaki elektriki açı 120° dir ve elektriki açı geometrik açıya eşit değildir.
e. Başta renk sayısı ikiye bölünmez



Şekil 0.21 Dört kutuplu el tipi sarımın 1. katı



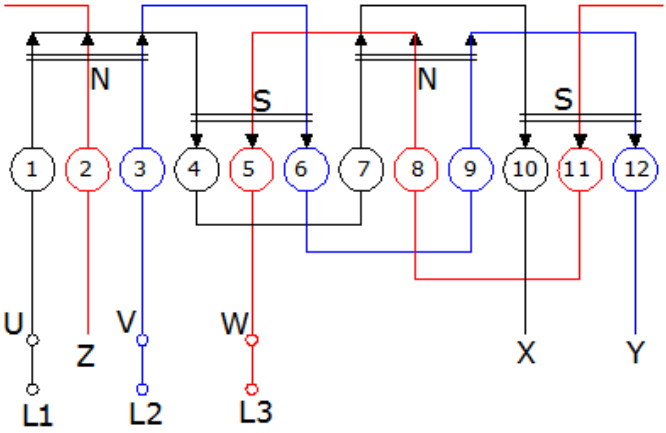
Şekil 0.22 Dört kutuplu el tipi sarımın 2. katı



Şekil 0.23 Dört kutuplu el tipi sarım

Örnek 5. X=12 2p=4 m=3

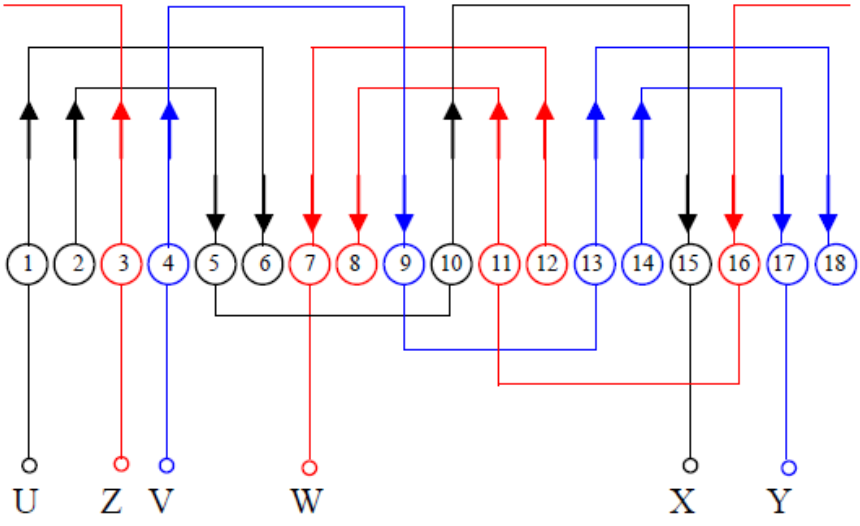
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{4.3} = 1 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.4}{12} = 60^o$$



Şekil 0.24 X=12 2p=4 m=3

Örnek 6. X=18 2p=4 m=3

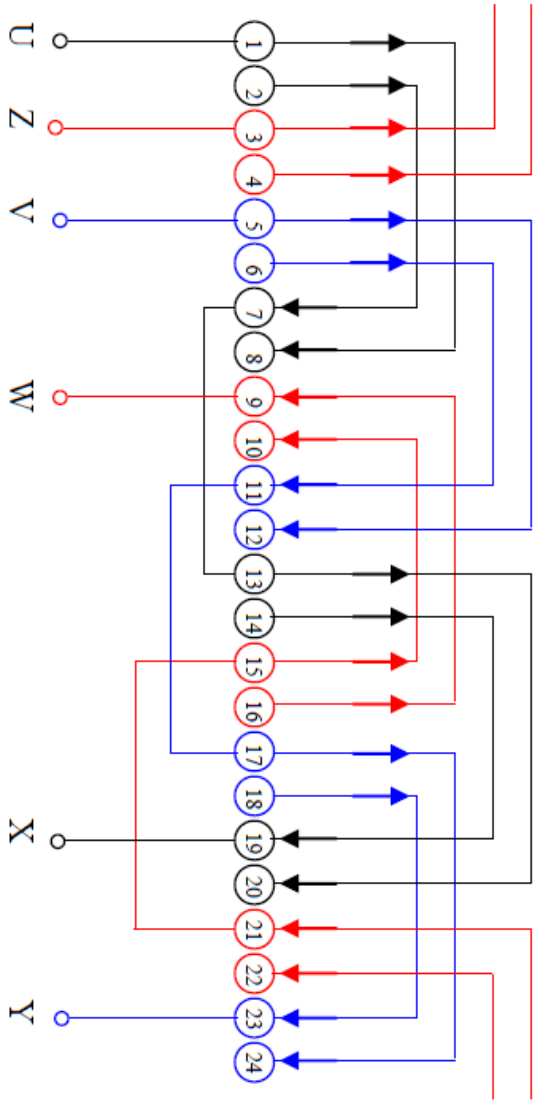
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{4.3} = 1\frac{1}{2} \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.4}{18} = 40^o$$



Şekil 0.25 X=18 2p=4 m=3

Örnek 7. X=24 2p=4 m=3

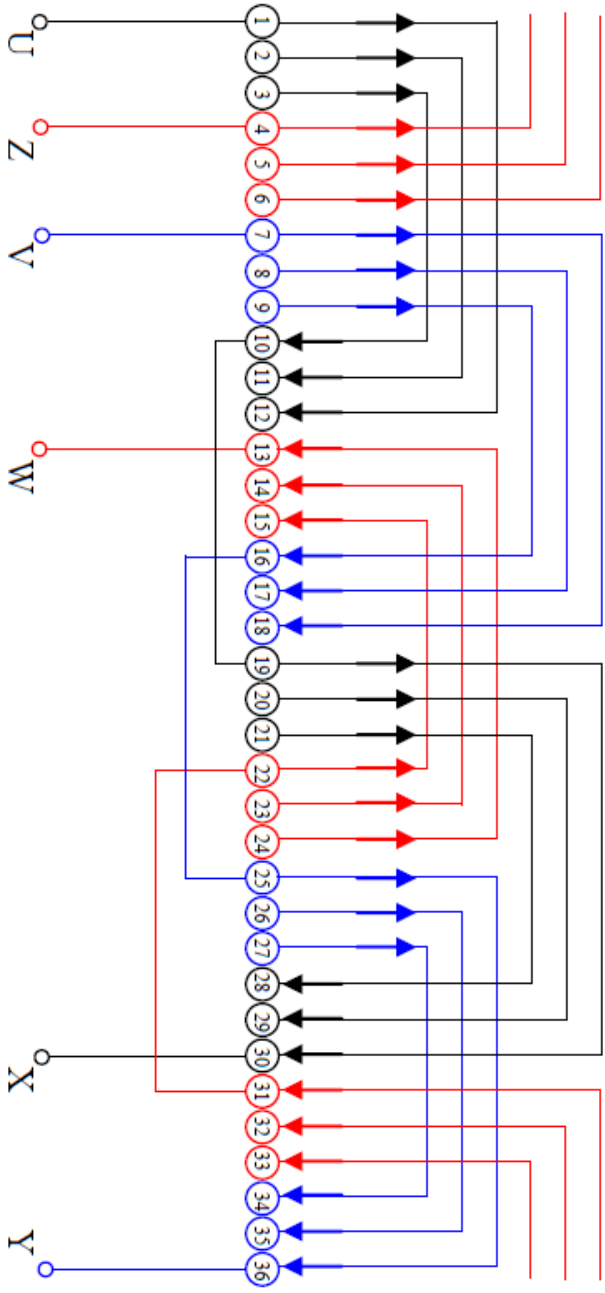
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{4.3} = 2 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.4}{24} = 30^o$$



Şekil 0.26 X=24 2p=4 m=3

Örnek 8. X=36 2p=4 m=3

$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{36}{4.3} = 3 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.4}{24} = 20^o$$



Şekil 0.27 X=36 2p=4 m=3

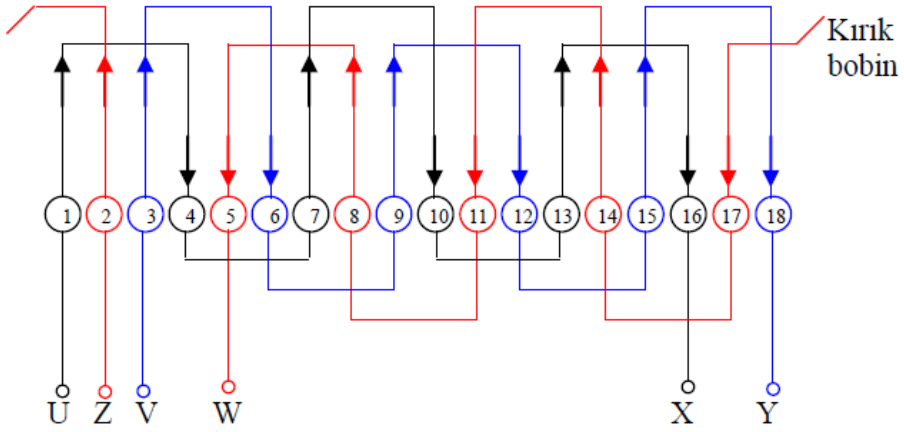
8.2.3 Dengeli El Tipi Sarım 6-8 Kutuplu (2P=6-8)

Özellikleri:

- Altı ve daha fazla kutuplu el tipi sargılar iki katlı olur.
- Her katta her üç fazdan bobin grupları bulunur. Ancak altı kutuplu el tipi sarımda bobin grubu sayısı tek sayı (9 tane) olduğundan, bobin gruplarından bir tanesinin yarısı birinci katta, diğer yarısı ikinci katta olur. Bu şekildeki bobin grubuna **kırık bobin** denir.
- Aynı faza ait bobin gruplarından birisinin çıkış ucu, diğerinin giriş ucu ile birleştirilir (**Çıkış, Girişe** bağlanır.).
- Faz girişleri arasındaki elektriki açı 120°'dir ve geometrik açıya eşit değildir.

Örnek 9. X=18 2p=6 m=3

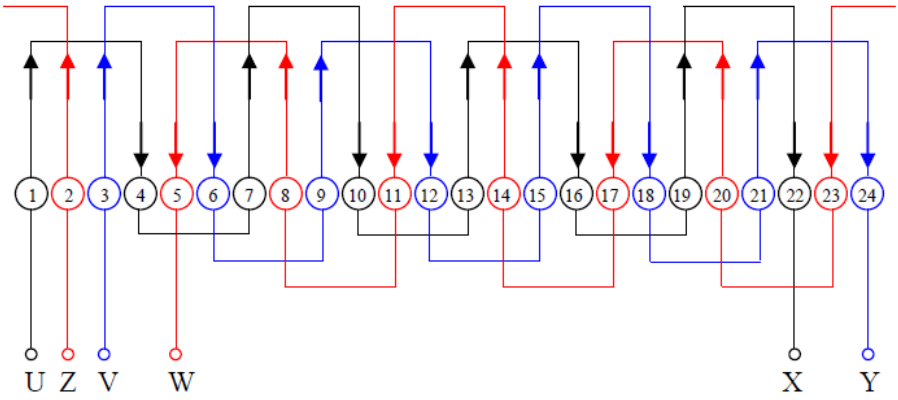
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{18}{6.3} = 1 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.6}{18} = 60^o$$



Şekil 0.28 X=18 2p=6 m=3

Örnek 10. X=24 2p=8 m=3

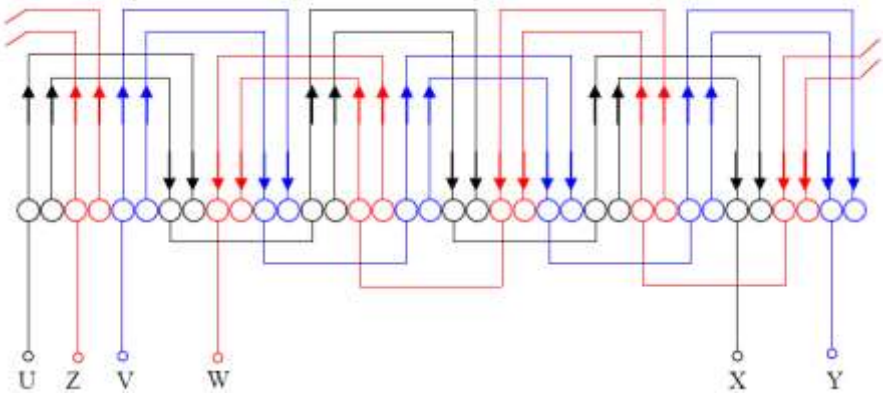
$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{8.3} = 1 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.8}{24} = 60^o$$



Şekil 0.29 X=24 2p=8 m=3

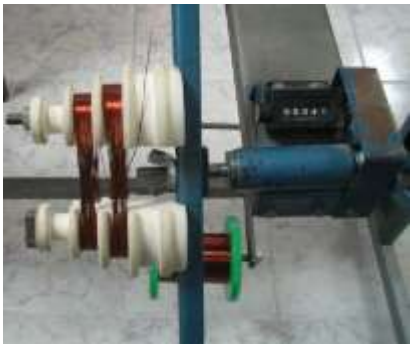
Örnek 11. X=36 2p=6 m=3

$$C = \frac{X}{2p.m} = \frac{36}{6.3} = 2 \qquad \propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.6}{36} = 30^o$$



Şekil 0.30 X=36 2p=6 m=3

8.2.4 Stator sarımının yapım aşamaları




Şekil 0.31 Bobin gruplarının sarılması




Şekil 0.32 Ölçüye göre presbant kesme




Şekil 0.33 Stator oyuklarının yalıtımı




Şekil 0.34 İlk bobinin oyuklara yerleştirilmiş şekli




Şekil 0.35Şekil 0.36 Üçüncü bobin grubunun yerleştirilişi




Şekil 0.37 Eklerin yapılması



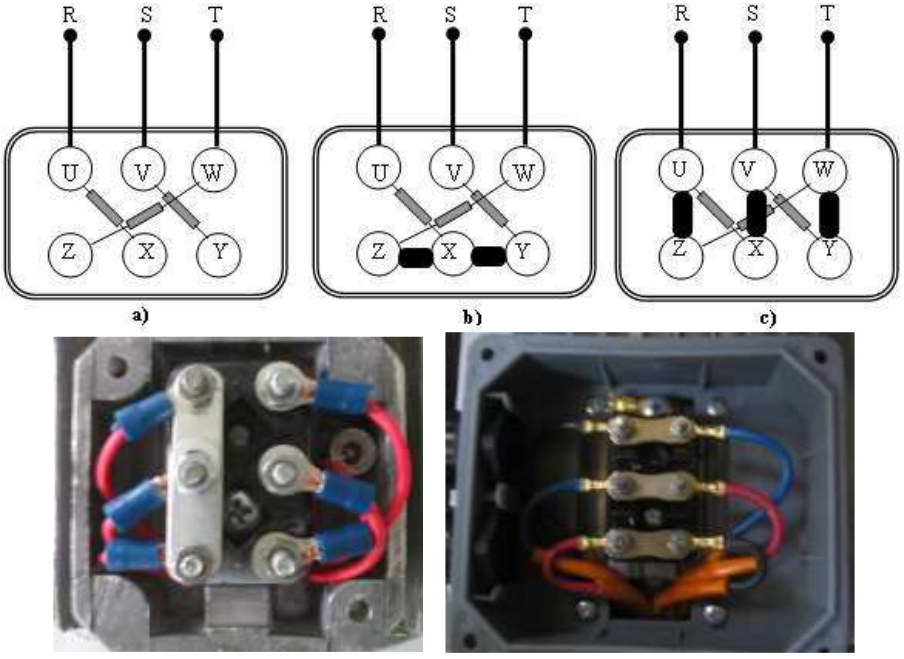

Şekil 0.38 Bobin giriş-çıkış uçlarının çıkarılması



Şekil 0.39 Bobinlerin tiretlenmesi ve bobinlerin iple bandajlanması



Şekil 0.40 Sargıların verniklenmesi



Şekil 0.41 Yıldız ve üçgen

8.2 Yarım Kalıp Stator Sarımı

Yarım kalıp (Yarım Gabare) sarımda bobinler yarı form verilmiş, yani yalnızca uç kıvrımları ve temel şekli oluşturulmuş kalıplar hâlinde hazırlanır. Daha sonra bu bobinler stator oluklarına yerleştirilir. Bu yöntem, el tipi sarıma göre hem daha düzenli hem de daha hızlıdır (Toliyat ve Kliman, 2004: 35–38). Yarım kalıp sarımlar iki ana grupta incelenir:

Toplu Yarım Kalıp Sarımlar

Toplu yarım kalıp sarımlarda bobinler daha sınırlı sayıda olukta yoğunlaşır.

- Basit güç uygulamaları,
- Düşük maliyetli üretim

gibi alanlarda tercih edilir.

Eşit adımlı toplu sarımlar, stator üzerinde daha düzenli bir manyetik alan sağlar.

Değişik adımlı sarımlar ise harmonik bileşenleri bastırmak amacıyla kullanılabilir (Kylander, 1995: 38–42).

Dağıtılmış Yarım Kalıp Sarımlar

Bu yöntemde bobinler birden fazla oluktan geçecek biçimde dağıtılır. Üç fazlı makinelerde döner alanın sinüsoidalliğini artırır ve harmonikleri azaltır (Pyrhönen, Hrabovcová ve Scott, 2016: 142–147).

Dağıtılmış yarım kalıp sarımlar üç alt sınıfa ayrılır:

Kısa adımlı sarım: Harmonikleri azaltır; özellikle 5. ve 7. harmonikte etkilidir (Hendershot ve Miller, 2010: 201–203).

Uzun adımlı sarım: Daha seyrek kullanılır; özel alan yoğunluğu gerektiren tasarımlarda tercih edilir.

Normal adımlı sarım: En yaygın kullanılan sarım tipidir; indüklenen gerilimi maksimuma yakın hâle getirir.

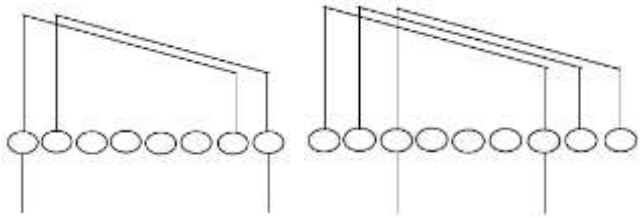
Yarım kalıp sarımlar aşağıdaki gibi guruplara ayrılır:

1. Toplu yarım kalıp sargılar
    a. Eşit adımlı yarım kalıp sargılar
    b. Değişik adımlı yarım kalıp sargılar
2. Dağıtılmış yarım kalıp sargılar
    a. Kısa adımlı yarım kalıp sargılar
    b. Uzun adımlı yarım kalıp sargılar
    c. Normal adımlı yarım kalıp sargılar

8.2.1 Toplu Yarım Kalıp Sargılar

Eşit adımlı

- Aynı faza ait bobin kenarları birbirine yakındır
- Oyuk adımları birbirine eşittir
- Bobin grupları eşit adımlı kalıplarda sarılır.



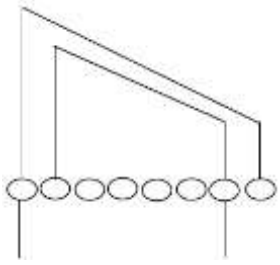
Şekil 0.42 İki ve üç bobin gruplu eşit adımlı

Eşit adımlı yarım kalıp sarımlarda bobinlerin birbirlerine bağlantıları iki şekilde yapılır. Bunlar;

- Dıştan giriş, dıştan çıkış
- İçten giriş, içten çıkış

Değişik adımlı

- Bobin büyüklükleri ve oyuk adımları eşit değildir.
- Bobinler iç içedir.
- Bobinler değişik büyüklükteki kademeli kalıplarda hazırlanır.



Şekil 0.43 İki bobin gruplu değişik adımlı yarım kalıp sarım

8.2.2 Dağıtılmış Yarım Kalıp Sargılar

Dağıtılmış yarım kalıp sargılarda bobin grupları toplu halde olmayıp stator çevresine belirli aralıklarla dağıtılmıştır.

Tanımlar

X : Oyuk Sayısı
2p : Tek Kutup Sayısı
P : Çift Kutup Sayısı
m : Faz Sayısı
C : Renk Sayısı
α : Elektriki Açı
Yx : Oyuk Adımı

Formüller:

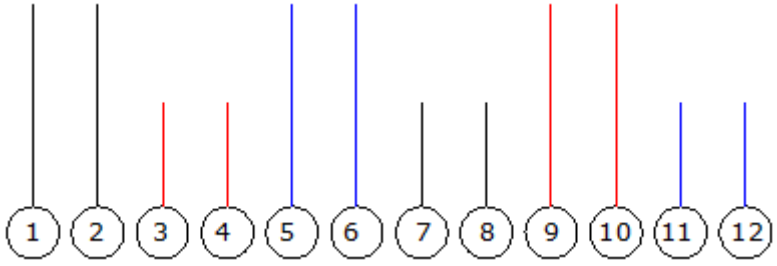
Bir kutup altında bir faza düşen oyuk sayısı veya renk sayısı	$C = \frac{X}{2p.m}$
İki oyuk arasındaki elektriki açı	$\propto = \frac{180.2p}{X}$
Oyuk adımı (Normal adımlı)	$Y_X = \frac{X}{2p}$
Oyuk adımı (Uzun adımlı)	$Y_X = \frac{X}{2p} + q$
Oyuk adımı (Kısa adımlı)	$Y_X = \frac{X}{2p} - q$

Örnek 1. X=12 2p=2 m=3 Eşit (normal) adımlı sarım

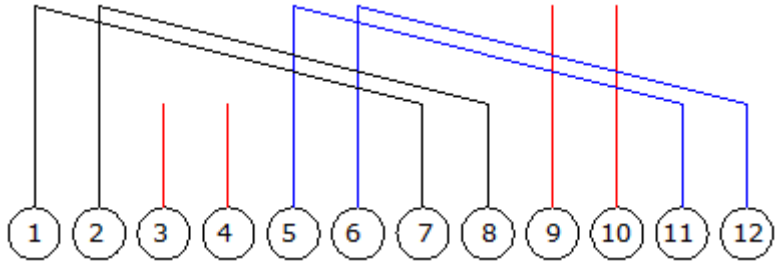
$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$

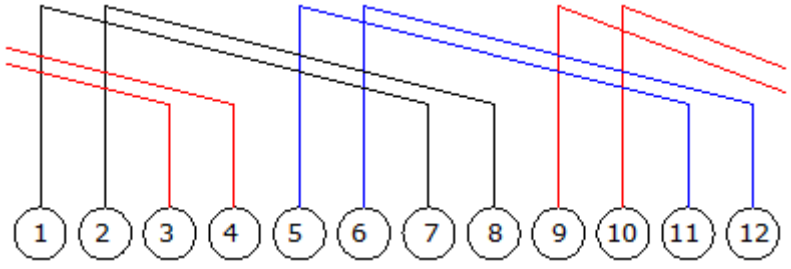
Renk sayısı kadar uzun, daha sonra renk sayısı kadar kısa çizgi çizilir.



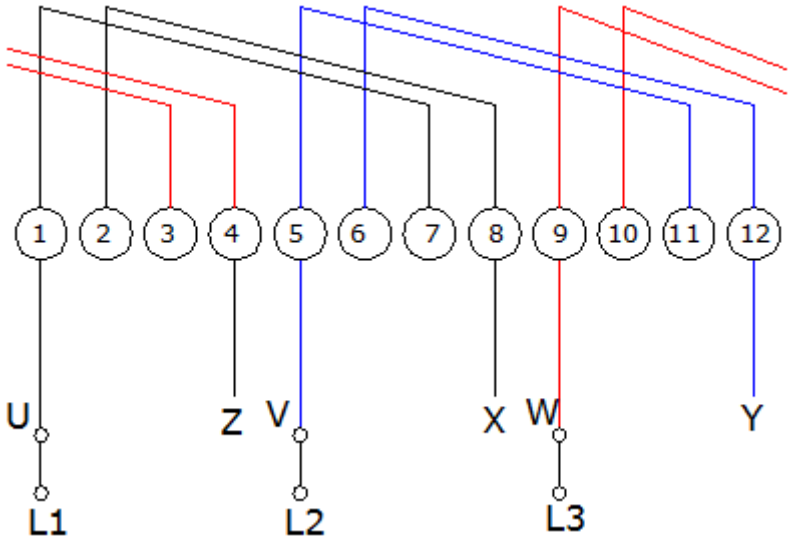
Şekil 0.44 Normal adımlı yarım kalıp sarım 1. aşama



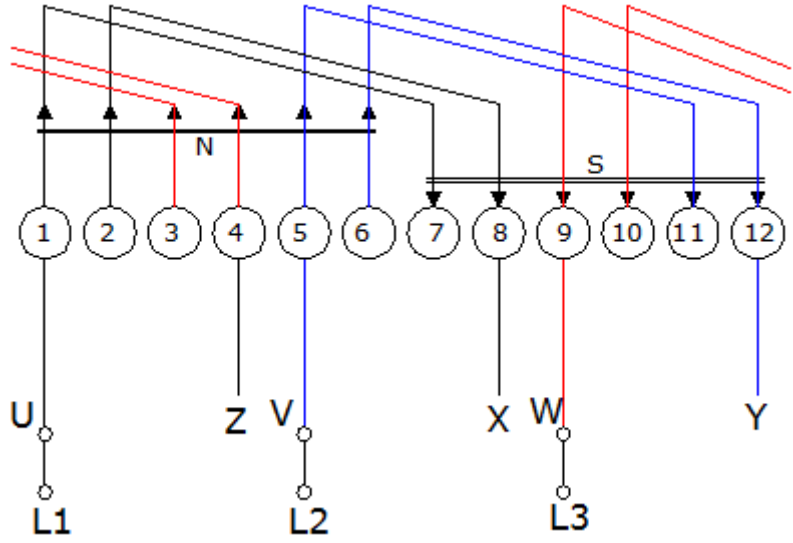
Şekil 0.45 Normal adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama



Şekil 0.46 Normal adımlı yarım kalıp sarım 3. aşama



Şekil 0.47 Normal adımlı yarım kalıp sarım 4. aşama

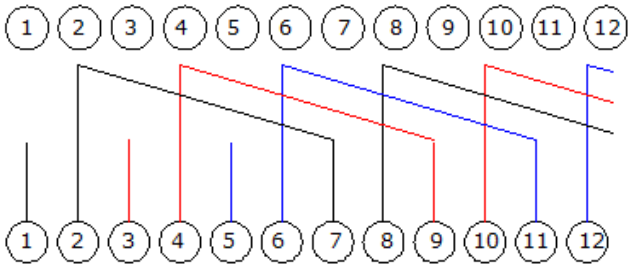


Şekil 0.48 Normal adımlı yarım kalıp sarım

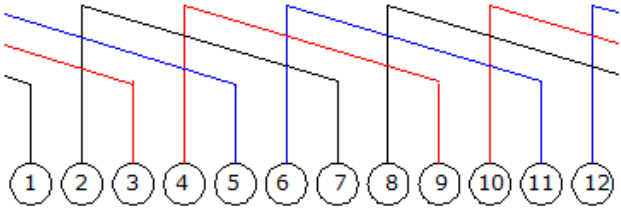
Örnek 2. X=12 2p=2 m=3 Kısa adımlı sarım
Önce bir kısa daha sonra bir uzun çizgi çizilir. Eğer renk sayısı "6" ise iki kısa iki uzun çizilir.

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} - 1 = 5(1-6) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

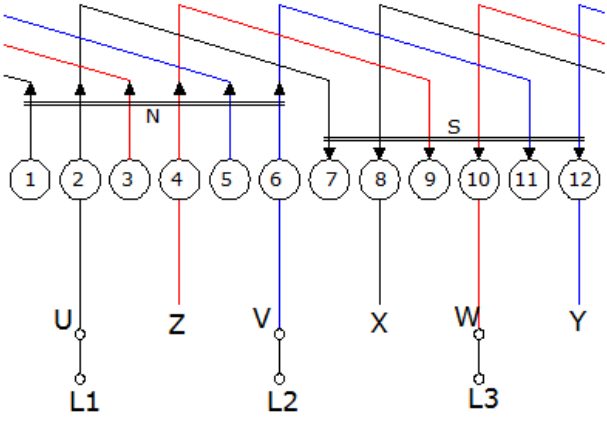
$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



Şekil 0.49 Kısa adımlı yarım kalıp sarım 1. aşama



Şekil 0.50 Kısa adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama



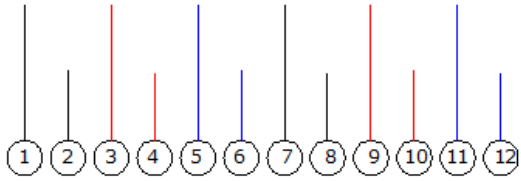
Şekil 0.51 Kısa adımlı yarım kalıp sarım

Örnek 3. X=12 2p=2 m=3 Uzun adımlı sarım

Önce bir uzun daha sonra bir kısa çizgi çizilir. Eğer renk sayısı “6” ise iki uzun iki kısa çizgi çizilir

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} + 1 = 7(1-8) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

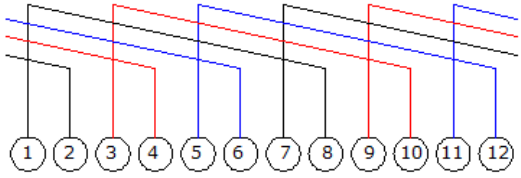
$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



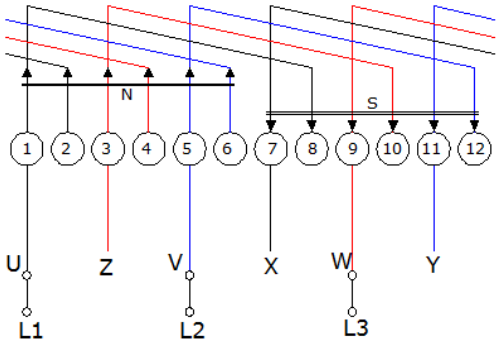
Şekil 0.52 Uzun adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama



Şekil 0.53 Uzun adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama



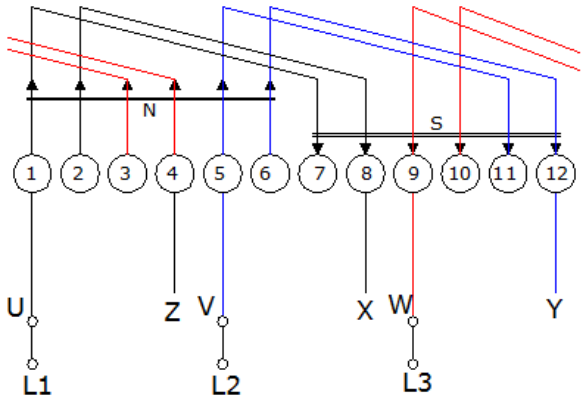
Şekil 0.54 Uzun adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama



Şekil 0.55 Uzun adımlı yarım kalıp sarım 2. aşama

Örnek 4. X=12 2p=2 m=3 Eşit (normal) adımlı sarım

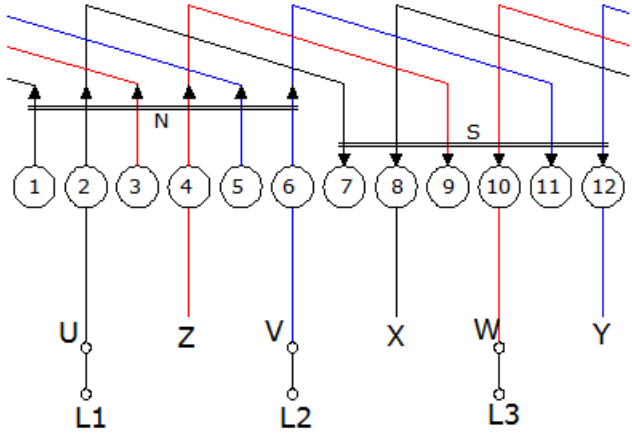
$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$
$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



Şekil 0.56 X=12 2p=2 m=3 Eşit (normal) adımlı sarım

Örnek 5. X=12 2p=2 m=3 Kısa adımlı sarım

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} - 1 = 5(1-6) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$
$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



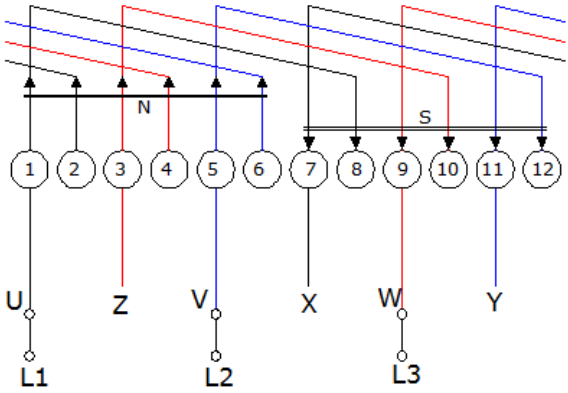
Şekil 0.57 X=12 2p=2 m=3 Kısa adımlı sarım

Örnek 6. X=12 2p=2 m=3 Uzun adımlı sarım

Önce bir uzun daha sonra bir kısa çizgi çizilir. Eğer renk sayısı “6” ise iki uzun iki kısa çizgi çizilir

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} + 1 = 7(1-8) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} =$$

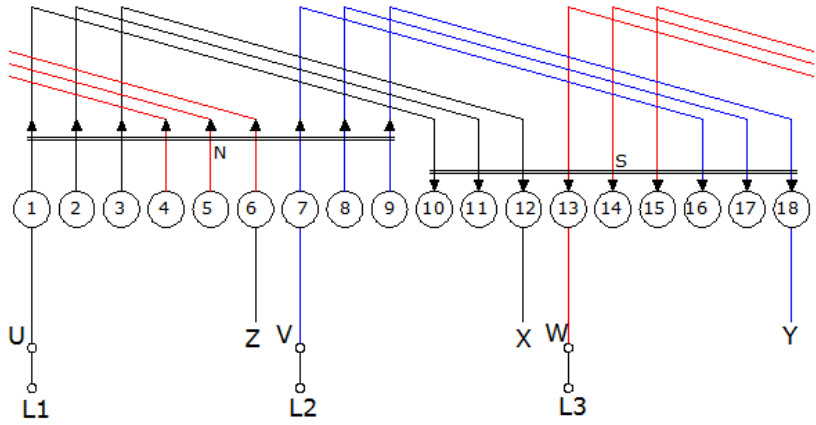


Şekil 0.58 X=12 2p=2 m=3 Uzun adımlı sarım

Örnek 7. X=18 2p=2 m=3 Eşit (normal) adımlı sarım

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{18}{2} = 9(1-10) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{18}{2.3} = 3$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{18} = 20^o$$

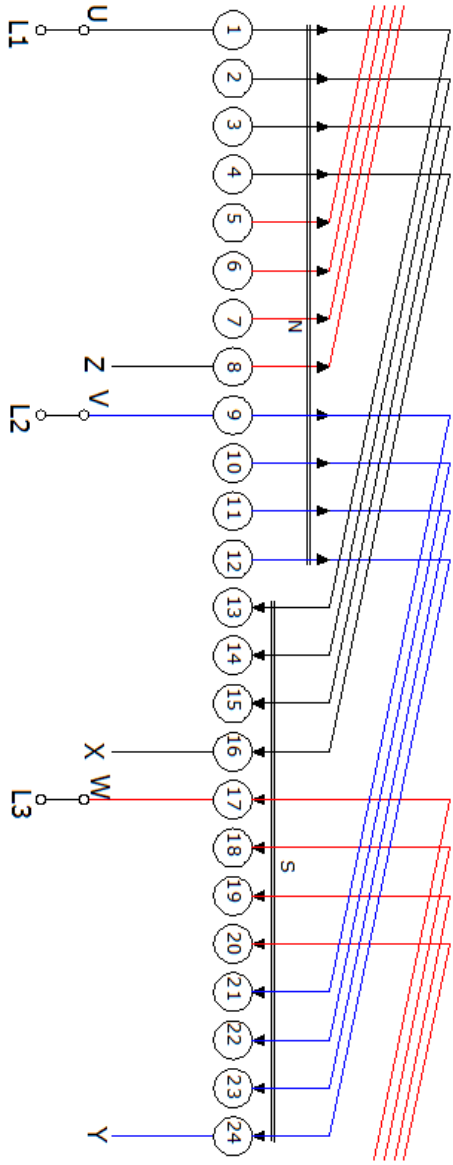


Şekil 0.59 X=18 2p=2 m=3 Eşit (normal) adımlı sarım

Örnek 8. X=24 2p=2 m=3

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{24}{2} = 12(1-13) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{2.3} = 4$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{24} = 15^o$$

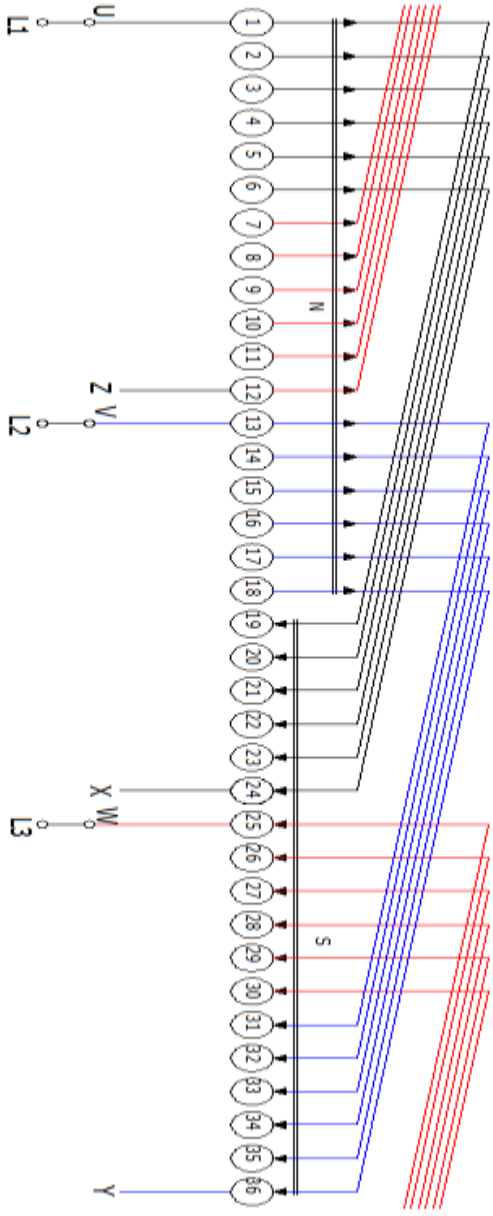


Şekil 0.60 X=24 2p=2 m=3

Örnek 9. X=36 2p=2 m=3

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{36}{2} = 13(1-14) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{36}{2.3} = 6$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{36} = 10^o$$



Şekil 0.61 X=36 2p=2 m=3

8.3 Tam Kalıp Sarım

Tam kalıp sarımlar, bobinlerin tamamen kalıp içinde şekillendirilerek standart ölçülerde üretildiği sarım türüdür. Bu yöntem endüstriyel AC motorlarda en yaygın kullanılan sarım tekniğidir (Barker ve Bailey, 2004: 89–93).

Tam kalıp sarımların önem kazandığı alanlar:

- Orta ve yüksek güçlü motorlar,
- Seri üretim prosesleri,
- Yüksek gerilim izolasyonu gerektiren uygulamalar,
- Uzun ömürlü ve yüksek verimli makineler.

Tam kalıp bobinler, geometrik olarak birbirinin tamamen aynıdır; bu durum:

- Daha düşük harmonik içerik,
- Daha yüksek verim,
- Gelişmiş termal dağılım,
- Daha iyi manyetik simetri

sağlar (Zhu ve Howe, 2007: 749–752).

Bu yöntem ayrıca stator üretiminin otomasyona uygun hâle gelmesine olanak tanır. Robotik bobin yerleştirme, presleme ve vernikleme süreçleri tam kalıp sarımlarla kolayca uygulanabilir (Jahns, 2017: 1039–1042).

Çıkış – Çıkışa, Giriş – Girişe bağlanır

Tanımlar

X : Oyuk Sayısı
2p : Tek Kutup Sayısı
P : Çift Kutup Sayısı
m : Faz Sayısı
C : Renk Sayısı
α : Elektriki Açı
Yx : Oyuk Adımı

Formüller:

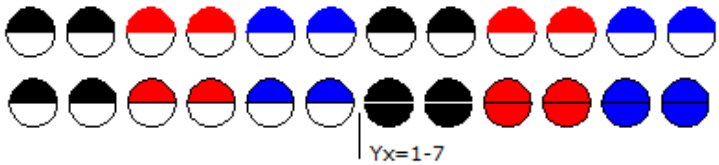
Bir kutup altında bir faza düşen oyuk sayısı veya renk sayısı	$C = \frac{X}{2p.m}$
İki oyuk arasındaki elektriki açı	$\propto = \frac{180.2p}{X}$
Oyuk adımı (Normal adımlı)	$Y_X = \frac{X}{2p}$
Oyuk adımı (Uzun adımlı)	$Y_X = \frac{X+q}{2p}$

Oyuk adımı (Kısa adımlı) $Y_X = \frac{X - q}{2p}$

Örnek 10. X=12 2p=2 m=3

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

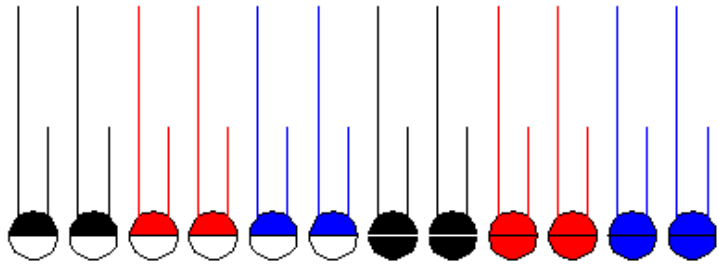
$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$



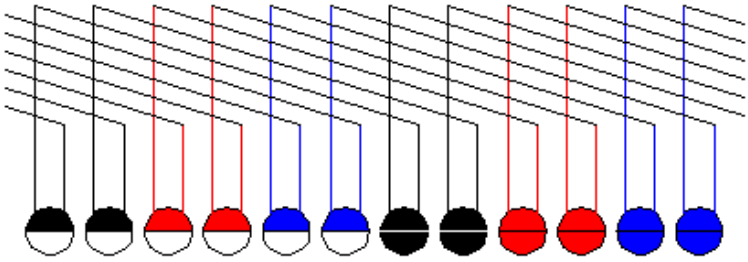
Şekil 0.62 Tam kalıp sarım 1. aşama

Giriş kenarlarını simgeleyen uzun çizgiler dairenin sol tarafına üst yarım dairenin renginde, çıkış kenarlarını simgeleyen kısa çizgiler dairenin sağ tarafına, alt yarım dairenin renginde çizilir.

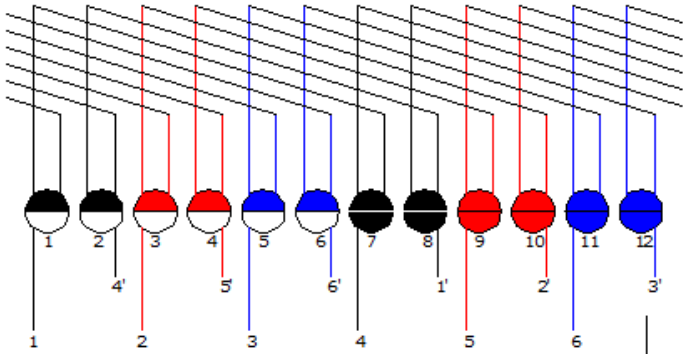
- Hesaplanan C değerine göre bobinlerin giriş kenarı olan uzun çizgiler çizilir
- Renk sayısı C=2 çıktığından uzun çizgiler ikişer ikişer renklendirilir.
- Yx değerine göre bobinlerin çıkış kenarı olan kısa çizgiler yine c değerine göre renklendirilir. (Yx=6 (1- 7) olduğundan 7.oyuktan başlanır.
- Bobinlerin giriş ve çıkış kenarları birleştirilir. (1.oyuktaki uzun çizgi ile 7.oyuktaki kısa çizgi birleştirilir) Bobin gruplarının üst kısmı oluşturulur. Bobin giriş ucu sol tarafa uzun çizgi ile çizilir ve rakam verilir. Çıkış ucu ise sağ tarafa kısa çizgi ile çizilir ve üslü rakamlarla belirtilir.



Şekil 0.63 Tam kalıp sarım 2. aşama

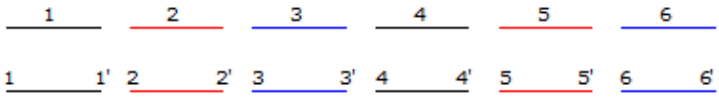


Şekil 0.64 Tam kalıp sarım 3. aşama



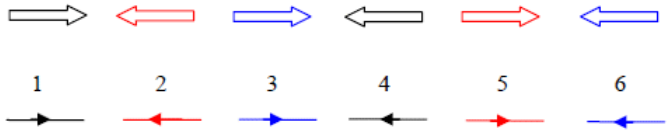
Şekil 0.65 Tam kalıp sarım

- Bu aşamada ise bobinler arası uç bağlantı ve kutuplandırma yapılır.
- Çizilen sarım şemasının altına aynı renkte kısa çizgiler çizilir. Her çizgi bir bobin grubunu gösterir. Giriş uçları sol tarafta, çıkış uçları ise sağ tarafta gösterilmektedir.



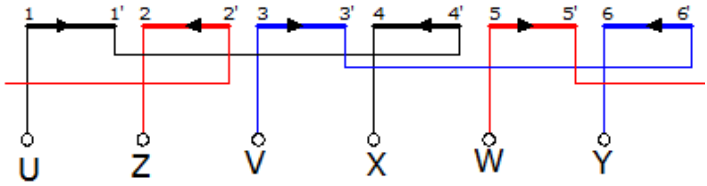
Şekil 0.66 Tam kalıp sarım giriş ve çıkış uçları

- Oklandırma yapılırken bir düz bir ters şeklinde yapılır



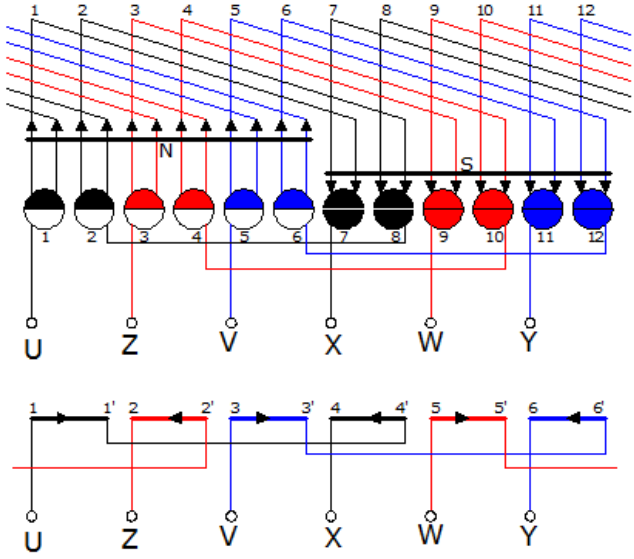
Şekil 0.67 Tam kalıp sarım giriş ve çıkış uçları

- Aynı faza ait bobin grupları ok yönünde takip edilir ve alt kısımda birleştirilir. İkinci faz girişi ise; oyuklar birinci faza ait bobin grubunun girişinden sayılarak 120º elektriki açı ile belirlenerek ikinci fazın girişi bulunur. Ya da bir renk atlanarak ikinci faz girişi tespit edilir. Üçüncü faz da aynı şekilde belirlenir ve bağlantısı tamamlanmış olur.
- Girişi simgeleyen uzun çizgilerin ucuna U-V-W, çıkışı simgeleyen kısa çizgilerin ucuna X-Y-Z adları verilir.



Şekil 0.68 Tam kalıp sarım giriş ve çıkış uçları bağlantısı

- Oklandırma yöntemine göre kutuplandırma (oklandırma) yapılır. Okun giriş yönü, sarım şemasında yukarıya doğru, okun çıkış yönü ise şemada aşağıya doğru çizilir.



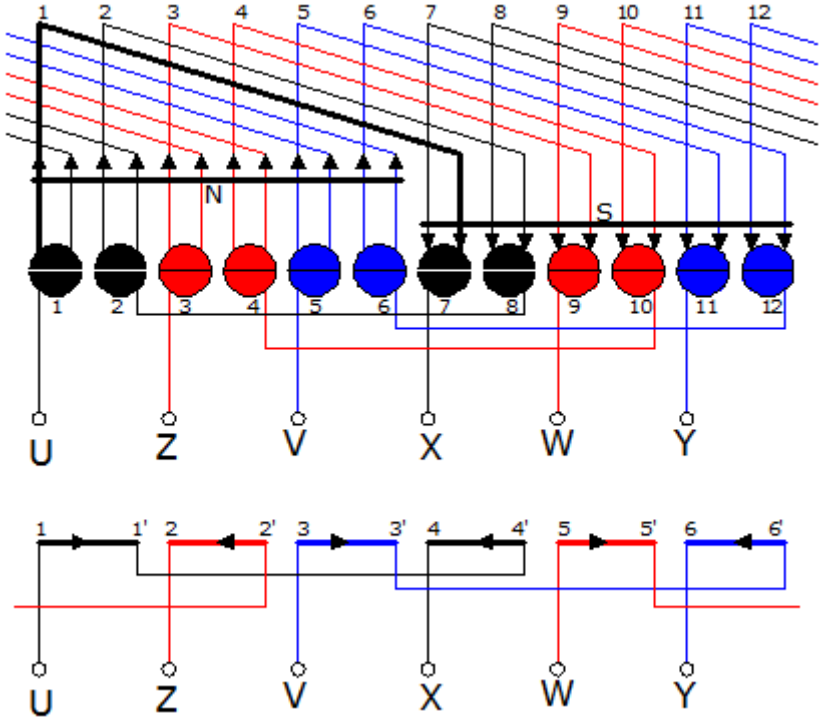
Şekil 0.69 Tam kalıp sarım

- Burada da yine fazlardan ikisi (U ve V) düz, birisi (W) ters oklandırılarak kutuplaşmanın düzgün olması sağlanır.

Örnek 11. X=12 2p=2 m=3 tam kalıp sarımı

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{12}{2} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{12}{2.3} = 2$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{12} = 30^o$$

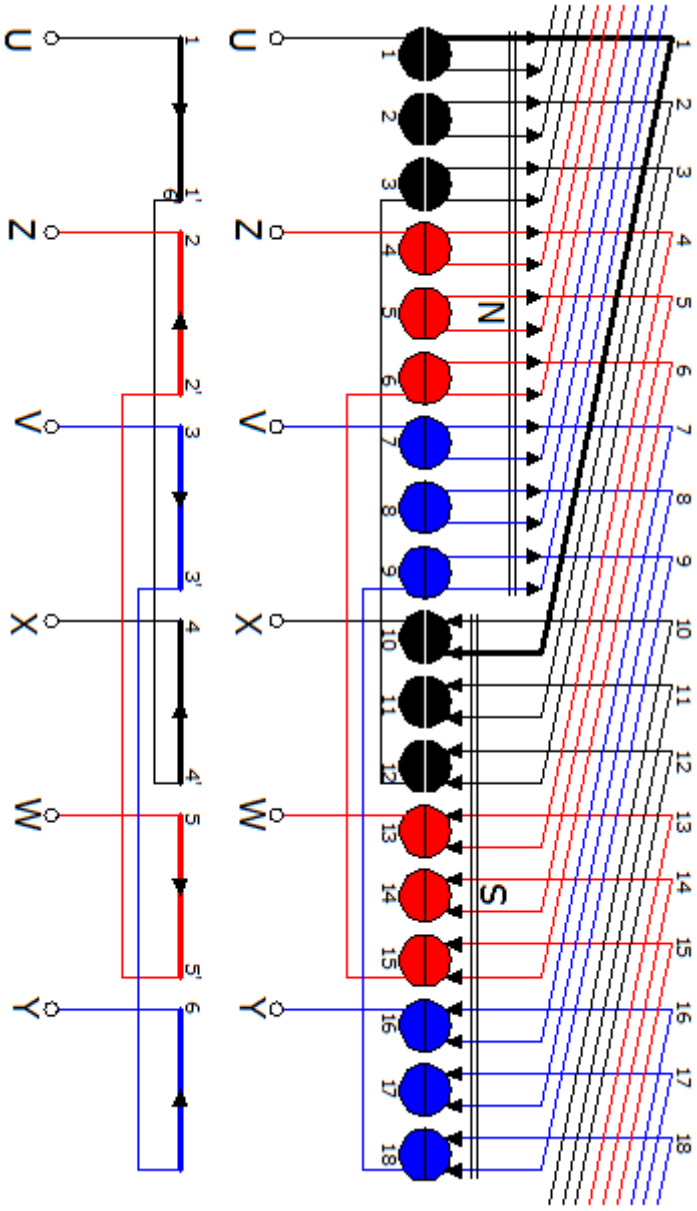


Şekil 0.70 X=12 2p=2 m=3

Örnek 12. X=18 2p=2 m=3 tam kalıp sarımı

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{18}{2} = 9(1-10) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{18}{2.3} = 3$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{18} = 20^o$$

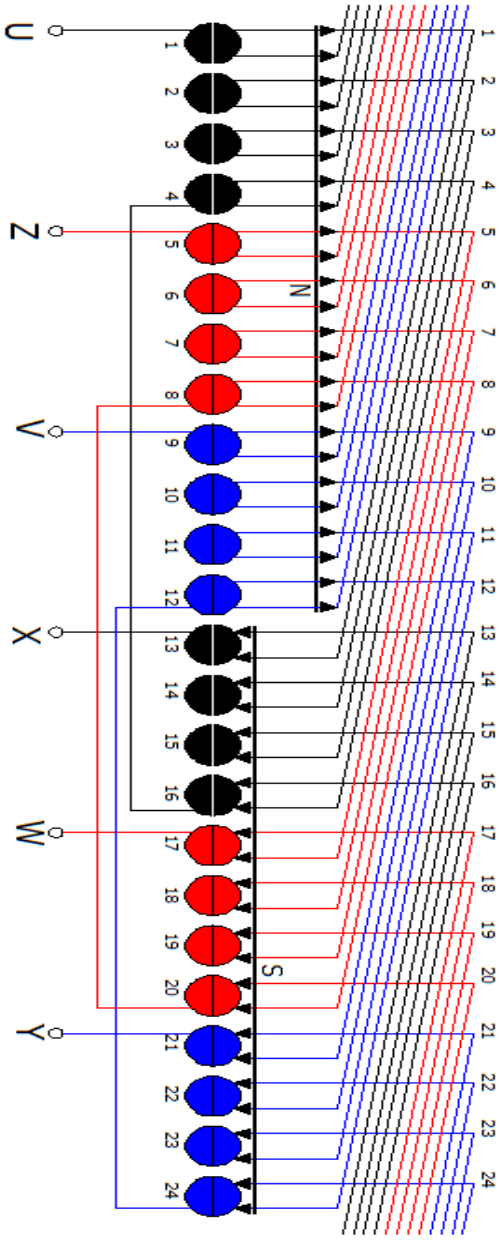


Şekil 0.71 X=18 2p=2 m=3

Örnek 13. X=24 2p=2 m=3 tam kalıp sarımı

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{24}{2} = 12(1-13) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{2.3} = 4$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.2}{24} = 15^o$$

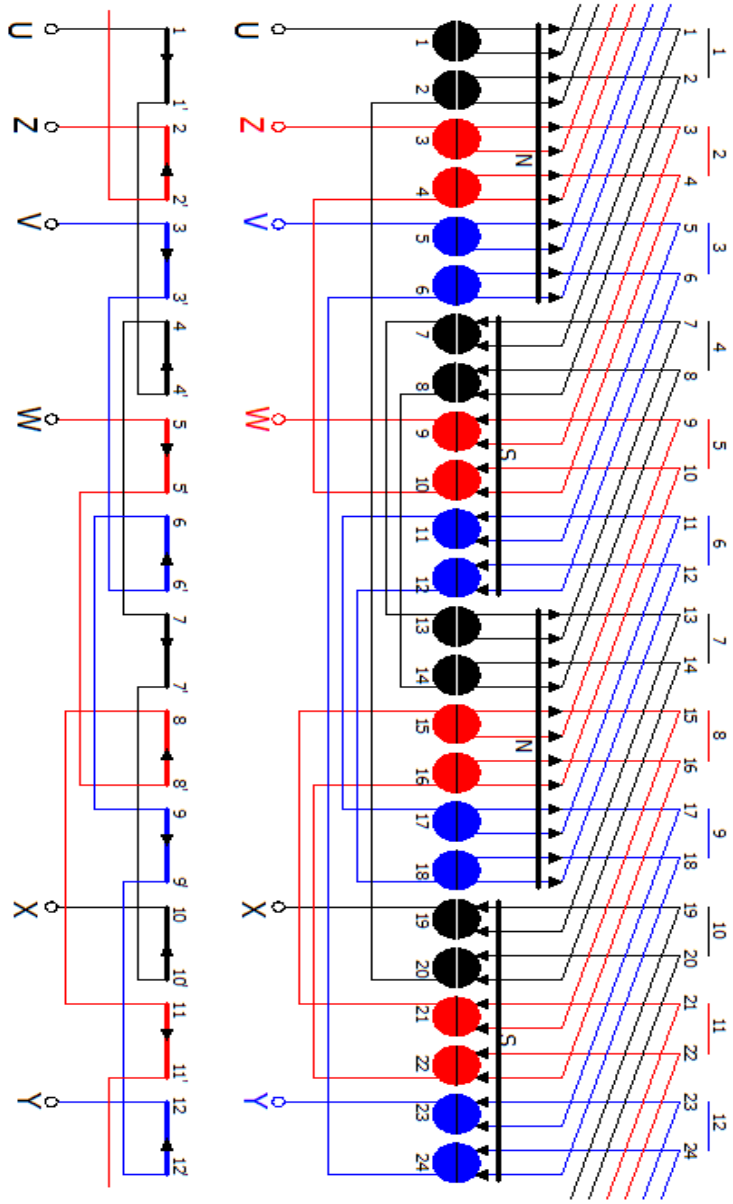


Şekil 0.72 X=24 2p=2 m=3

Örnek 14. X=24 2p=4 m=3 tam kalıp sarımı

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{36}{6} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{36}{6.3} = 2$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.6}{36} = 30^o$$

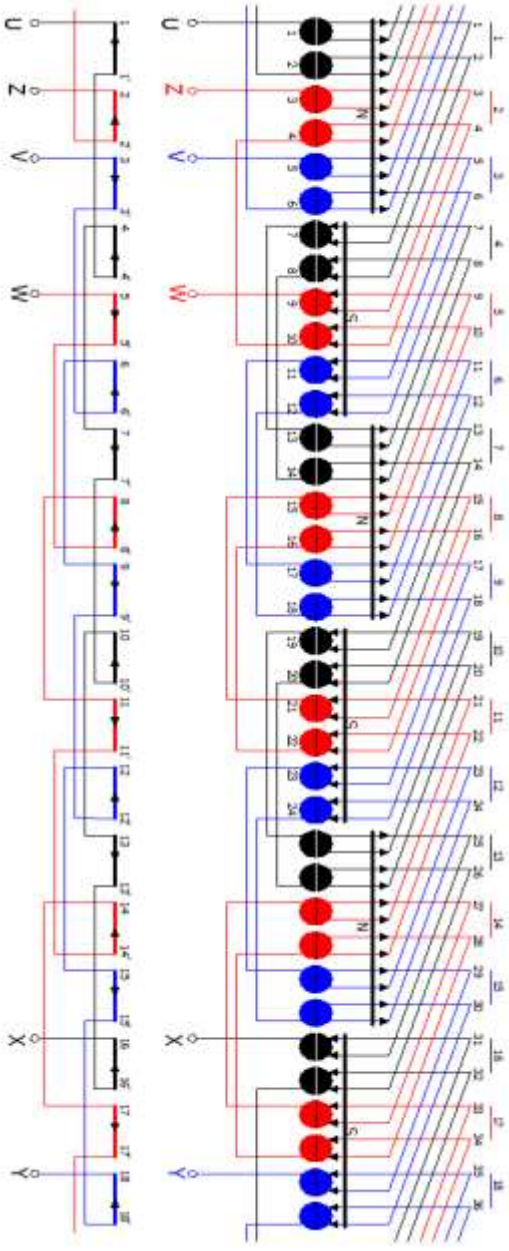


Şekil 0.73 X=24 2p=4 m=3

Örnek 15. X=36 2p=6 m=3 tam kalıp sarımı

$$Y_X = \frac{X}{2p} = \frac{24}{4} = 6(1-7) \qquad C = \frac{X}{2p.m} = \frac{24}{4.3} = 2$$

$$\propto = \frac{180.2p}{X} = \frac{180.4}{24} = 30^o$$



Şekil 0.74 X=36 2p=6 m=3

8.3.1 Tam Kalıp Sarımının Yapım Aşamaları




Şekil 0.75 Bobin el sarım çıkrığı, bobin grupları




Şekil 0.76 Sarımı tamamlanmış bandajlanmış stator



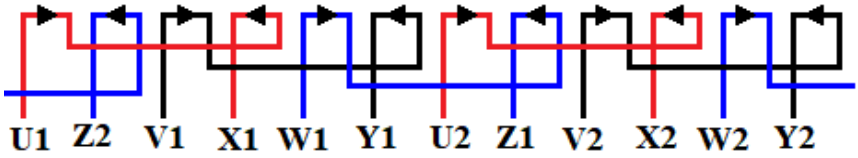

Şekil 0.77 Sarımı bitmiş stator içi görünüşü

8.3.2 Bobin Gruplarının Stator Dışında Paralel Bağlanması

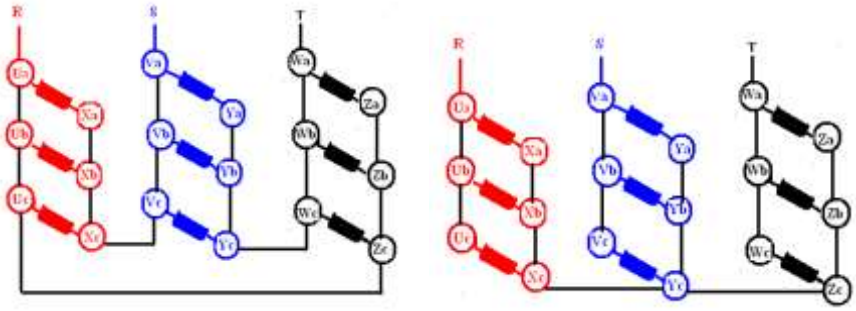
Motorları değişik gerilimlerde çalıştırmak gerektiğinden bobin grupları stator dışında yani klemens kutusunda farklı şekillerde bağlanırlar.
Bunlar;

- Seri yıldız,
- Seri üçgen
- Paralel yıldız
- Paralel üçgendir.

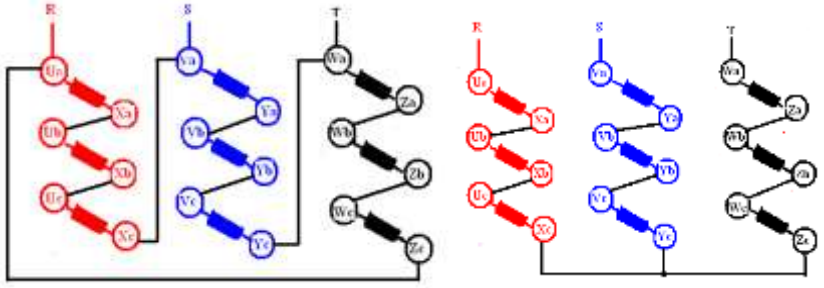
Bu bobinlerin bağlanma koşulu ise her faza düşen gerilim ve akımın mutlaka aynı olması gerekir. Ayrıca güç de aynı olmalıdır. Bobin gruplarının bağlantıları için klemens kutusunda 12 tane uç bulunmaktadır.



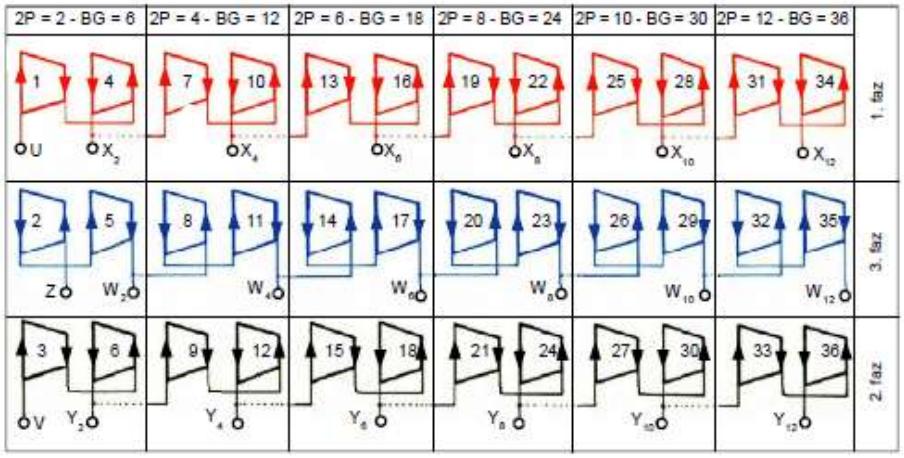
Şekil 0.78 Bobin gruplarının bağlantısı



Şekil 0.79 Paralel/üçgen bağlantı (125V), Paralel/yıldız bağlantı (220V)



Şekil 0.80 Seri/üçgen bağlantı (380V) Seri/yıldız bağlantı (660V)



Şekil 0.81 Tam kalıp sarımda bobin gruplarının bağlanması

SONUÇ

Bu kitapta, elektrik makinelerinde kullanılan endüvi ve stator sarımlarının temel ilkeleri, türleri ve uygulama yöntemleri ele alınmıştır. Seri ve paralel endüvi sarımları, el tipi stator sarımı ile yarım ve tam kalıp stator sarımları hem yapısal hem de işlevsel açıdan açıklanmıştır.

Sarım tekniğinin yalnızca bir "sargı yerleştirme işlemi" olmadığı, aksine elektrik makinesinin performansını, çalışma karakteristiğini ve güvenilirliğini belirleyen temel bir mühendislik alanı olduğu gösterilmiştir. Bu yönüyle kitap, öğrenciler, teknisyenler ve mühendisler için hem eğitim sürecinde hem de uygulamada başvurulabilecek bir kaynak olarak hazırlanmıştır.

Sonuç olarak, doğru tasarlanmış ve uygulanmış bir sarımın, elektrik makinelerinin uzun ömürlü, verimli ve güvenilir çalışmasında kritik rol oynadığı bir kez daha ortaya konmuştur. Bu kitabın, sarım tekniklerini öğrenmek ve geliştirmek isteyen tüm okuyuculara katkı sağlamasını diliyorum.

REFERANSLAR

BAL, G. (2008). *Doğru Akım Makinaları ve Sürücüleri*. Seçkin Yayınevi, Ankara.

Bertotti, G. (1998). *Hysteresis in magnetism: For physicists, materials scientists, and engineers.* Academic Press.

Boglietti, A., Cavagnino, A., ve Staton, D. A. (2009). *Design considerations and thermal management of electric motors.* IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56(1), 69–80.

Barker, R., ve Bailey, P. (2004). *Electrical machine design handbook.* McGraw-Hill.

Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals (5th ed.)*. McGraw-Hill.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Jr., ve Umans, S. D. (2003). *Electric machinery (6th ed.)*. McGraw-Hill.

Guru, B. S., ve Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric machinery and transformers (3rd ed.)*. Oxford University Press.

Hendershot, J. R., ve Miller, T. J. E. (2010). *Design of brushless permanent-magnet machines (2nd ed.)*. Motor Design Books.

Jahns, T. M. (2017). *The expanding role of electrical machines in electrified transportation*. Proceedings of the IEEE, 105(6), 1037–1054.

Kylander, G. (1995). *Design of small electrical machines*. Chalmers University of Technology.

Kulkarni, S. V., ve Khaparde, S. A. (2004). *Transformer engineering: Design, technology, and diagnostics*. CRC Press.

Milli Eğitim Bakanlığı, (2011). *Elektrik ve Elektronik Teknolojisi Endüktör Onarımı*. Ankara.

Milli Eğitim Bakanlığı, (2011). *Elektrik ve Elektronik Teknolojisi El Tipi Sarım*. Ankara.

Özdemir, A. Özdemir, E. (2005). *Atölye 2-3 DC ve AC Makinaların Bobinajı*. 1. Baskı. Bolu

Pyrhönen, J., Hrabovcová, V., ve Scott, R. (2016). *Design of rotating electrical machines (2nd ed.)*. Wiley.

Say, M. G. (2005). *Alternating current machines (5th ed.).* Pitman Publishing.

Theraja, B. L., & Theraja, A. K. (2005). *Electrical technology: AC and DC machines*. S. Chand Publishing.

Toliyat, H. A., ve Kliman, G. B. (2004). *Handbook of electric motors (2nd ed.)*. CRC Press.

Vas, P. (1992). *Electrical machines and drives: A space-vector theory approach*. Oxford University Press.

Zhu, Z. Q., & Howe, D. (2007). *Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles*. Proceedings of the IEEE, 95(4), 746–765.