

Dersin Adı: Sürekli Mıknatıslı Motor Teknolojileri ve Tasarımı				Course Name: Permanent Magnet Motor Technologies and their Design		
Kod (Code)	Yarıyıl (Semester)	Kredi (Local Credits)	AKTS Kredi (ECTS Credits)	Ders Uygulaması, Saat/Hafta (Course Implementation, Hours/Week)		
				Ders (Theoretical)	Uygulama (Tutorial)	Laboratuar (Laboratory)
ELK 450	8	3	6	3	0	0
Bölüm / Program (Department/Program)		Elektrik Mühendisliği / Elektrik Mühendisliği (Electrical Engineering / Electrical Engineering)				
Dersin Türü (Course Type)		Seçmeli (Elective)		Dersin Dili (Course Language)		Türkçe (Turkish)
Dersin Önkoşulları (Course Prerequisites)		Yok (None)				
Dersin Mesleki Bileşene Katkısı, % (Course Category by Content, %)		Temel Bilim ve Matematik (Basic Sciences and Math)	Temel Mühendislik (Engineering Science)	Mühendislik/Mimarlık Tasarım (Engineering/Archit ecture Design)	Genel Eğitim (General Education)	
		-	-	100	-	
Dersin Tanımı (Course Description)		<p>Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının tipleri, yapıları, çalışma prensipleri ve rakip motor teknolojileri ile karşılaştırılması, kullanılan yumuşak ve sert ferromanyetik malzemeler, matematiksel modellemesi ve benzetimi, sürücü sistemleri ve kontrol teknikleri, kullanılan konum algılayıcılar ve algılayıcısız kontrol teknikleri, PM motorların elektromanyetik, ısısal ve mekanik olarak analitik ve nümerik tasarımları, karşılaşılabilecek tasarım sorunları ve çözümlenmeleri, sonlu elemanlar analizi (FEA), tasarımda kullanılan FEA yazılımları ve süreçleri, optimizasyon ve uygulama örnekleri.</p> <p>Structures, types, principles and comparison of permanent magnet electric motors with competitor motor technologies, soft and hard ferromagnetic materials used in PM motors, mathematical modeling and simulation, drive systems and control techniques, position sensors and sensorless control techniques, electromagnetical, thermal and mechanical designs of PM motors analytically and numerically, design problems and solutions to be encountered, finite element analysis (FEA), FEA software and processes used in design, optimization and application examples.</p>				
Dersin Amacı (Course Objectives)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Gelişen ve yaygın olarak kullanılan sürekli mıknatıslı elektrik motor teknolojilerine, işletme özelliklerine ve uygulamalarına ilişkin ayrıntılı bilgi vermek 2. Endüstriyel ve servo uygulamalarda karşılaşılan sürekli mıknatıslı elektrik motorlarına ilişkin sorunları çözmeye yönelik yaklaşım kazandırmak 3. Sürekli mıknatıslı elektrik motorların tasarım ve optimizasyonuna ilişkin prensipler, yöntemler ve ipuçları sağlamak 4. Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının analitik ve nümerik yöntemler kullanarak elektromanyetik, ısısal ve mekanik modellenmesi ve analizi yeteneğini kazandırmak 5. Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının sürücü sistemleri ve bunların kontrol stratejilerinin anlaşılmasını sağlamak <ol style="list-style-type: none"> 1. To give detailed information on developing and widely used permanent magnet electric motor technologies, operating characteristics and applications. 2. To provide an approach to solve the problems of permanent magnet electric motors in industrial and servo applications. 3. To provide principles, methods, tips and solution approaches for the design and optimization of permanent magnet electric motors 4. To gain the ability of electromagnetic, thermal and mechanical modeling and analysis of permanent magnet electric motors using analytical and numerical methods 				

	<p>5. To provide an understanding of the drive systems of the permanent magnet electric motor and their control strategies</p>
<p>Dersin Öğrenme Çıktıları</p> <p>(Course Learning Outcomes)</p>	<p>I. Endüstride ve servo sistemlerde yaygın olarak kullanılan sürekli mıknatıslı elektrik motorları hakkında uygulama gereksinimleri ve tasarımını da kapsayacak şekilde bilgi sahibi olma ve klasik elektrik makinelerine göre üstünlüklerini öğrenme</p> <p>II. Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının matematiksel modellemesi, analitik analizi ve tasarımının temellerine, yazılım kullanarak analitik analizlerin gerçekleştirilmesine yönelik bilgi birikimine sahip olma</p> <p>III. Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının nümerik yöntemler kullanılarak elektromanyetik, ısısal ve mekanik olarak modelleyebilme yetkinliği kazanma ve bu yönde çeşitli yazılımları (Sonlu Elemanlar Yöntemi - FEA) kullanabilme</p> <p>IV. Sürekli mıknatıslı elektrik motor sürüş sistemleri ve bunların kontrolü için çeşitli yöntemler kullanabilme ve uygulamalı tasarımsal çalışmalar gerçekleştirebilme</p> <p>V. Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının tasarım, işletme ve endüstriyel uygulamaları (kara, hava, uzay, askeri, robotik, otomotiv, servo sistemler vb.) ve gereksinimleri hakkında kapsamlı bilgiye sahip olma</p>
	<p>I. To have knowledge about permanent magnet (PM) electric motors, which are widely used in industry and servo systems, including application requirements and design, and to learn their superiority over classical electrical machines.</p> <p>II. To have the basics of mathematical modeling, analytical analysis and design of permanent magnet electric motors, and to have the knowledge to perform analytical analysis using software</p> <p>III. Gaining the competence of electromagnetic, thermal and mechanical modeling of permanent magnet electric motors using numerical methods and using various software (Finite Element Method - FEA) in this direction</p> <p>IV. To be able to use permanent magnet electric motor driving systems and various methods for their control and to perform applied design studies</p> <p>V. Having comprehensive knowledge about the design, operation and industrial applications (land, air, space, military, robotic, automotive, servo systems, etc.) of permanent magnet electric motors and requirements</p>

DERS PLANI

Hafta	Konular	Dersin Öğrenme Çıktıları
1	Sürekli mıknatıslı elektrik motor teknolojilerine yönelik temel prensipler, yasalar, elektromekanik enerji dönüşümünün temelleri, enerjinin korunumu, moment üretimi	I, II
2	Fırçalı ve fırçasız motor teknolojilerinin temel prensipleri, karşılaştırılması, kontrol ve sürücü sistemleri, PM motorların rakip motorlarla (asenكرون ve relüktans motorlar) yapıları, prensipleri, karakteristikleri, işletme özellikleri ve gereksinimleri, teknolojik gelişmişlikleri, verim, güç yoğunluğu, kontrolü vb. açılardan karşılaştırılması	I, V
3	Sürekli mıknatıslı elektrik motor kullanılan yumuşak ve sert ferromanyetik malzemeler, iletkenler, yalıtım malzemeleri vb. Kullanılan sürekli mıknatıs malzemeleri ve karakteristikleri, sürekli mıknatıslı manyetik devreler ve çözümü	I, II
4	Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarında moment üretimi, temel analitik denklemler, moment ve endüklenen gerilim katsayıları, güç akışı, kayıplar ve verim, sürekli ve geçici haldeki performans analizi	II
5	Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının tipleri, yapıları (radyal, lineer, aksiyel), çalışma prensipleri, matematiksel modelleri, moment-hız karakteristikleri, sabit moment ve sabit güç bölgelerinin incelenmesi ve karşılaştırılması (BLDC, PMSM, PMSynRM vb.)	I, II, IV
6	Fırçasız doğru akım motorlarının (BLDC) çalışma prensipleri ve gereksinimleri, durum uzay matematik modeli, benzetimi, moment-hız karakteristikleri, kullanılan konum algılayıcılar, algılayıcısız kontrol teknikleri, kontrolü ve uygulama alanları	I, II, IV, V
7	Sürekli mıknatıslı senkron motorların (PMSM - IPM) prensipleri, dq eksen takımlarının tanımlanması ve modellenmesi, PMSM'lerde kullanılan konum algılayıcılar ve algılayıcısız kontrol teknikleri, FOC, DTC ve uygulama alanları	I, II, IV, V
8	Senkron relüktans (SynRM) ve mıknatıs destekli senkron relüktans motorların (PMSynRM) prensipleri, modellemesi, sürücü devreleri, PMSM motorlarla karşılaştırılması ve uygulama alanları	I, II, IV, V
9	Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının analitik tasarımları ve karşılaşılabilecek tasarım sorunları ve çözümler, soğutma sistemi ve ısı transferi, mekanik sistem ve tasarım örnekleri	II, V
10	Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının tasarımında genel yaklaşımlar, uygulama gereksinimleri, ana boyut denklemi, tasarım büyüklükleri ve seçimi, boyutlandırmalar, tasarım kriterleri ve kısıtlamalar	II, V
11	Sürekli mıknatıslı elektrik motorlarında uygulama gereksinimlerinden yola çıkarak stator ve rotora ilişkin yapılar ve tasarım büyüklükleri, sargı tipleri, oluk tipleri ve boyutlandırılması, hava aralığı, faz sayısı, kutup sayısı vb. büyüklüklerin belirlenmesine yönelik yaklaşımlar	II, IV, V
12	Elektrik makinelerinde sonlu elemanlar analizi (FEA) ve tasarımda kullanılan FEA yazılımları ve süreçleri. Uygun bir paket yazılım ile sürekli mıknatıslı elektrik motorlarının sonlu elemanlar analizi aşamaları ve gerçekleşmesi	III
13	PM motorların elektromanyetik, ısıl ve mekanik olarak nümerik tasarımları, karşılaşılabilecek tasarım sorunları ve çözümler, FEA ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, optimizasyon çalışmaları, durum incelemeleri	III, V
14	Dönem projesi sunumları ve değerlendirmesi	II, III, IV, V

COURSE PLAN

Weeks	Topics	Course Learning Outcomes
1	Basic principles, laws, fundamentals of electromechanical energy conversion, energy conservation, torque production for permanent magnet (PM) electric motor technologies	I, II
2	Basic principles and comparison of brushed and brushless motor technologies, control and drive systems, comparison of PM motors with competitor motors (asynchronous and reluctance motors) in terms of structures, principles, characteristics, operating characteristics and requirements, technological developments, efficiency, power density, control, etc.	I, V
3	Soft and hard ferromagnetic materials, conductors, insulation materials, etc., used in permanent magnet electric motors. Permanent magnet materials and characteristics, PM magnetic circuits and solutions	I, II

4	Torque production in permanent magnet electric motors, basic analytical equations, torque and induced voltage coefficients, power flow, losses and efficiency, continuous and transient performance analysis	II
5	Types of permanent magnet electric motors, structures (radial, linear, axial), principles, mathematical models, torque-speed characteristics, examination and comparison of constant torque and constant power regions (BLDC, PMSM, PMSynRM etc.)	I, II, IV
6	Working principles and requirements of brushless direct current motors (BLDC), state space mathematical model, simulation, torque-speed characteristics, position sensors used, sensorless control techniques, control and applications	I, II, IV, V
7	Principles of permanent magnet synchronous motors (PMSM - IPM), definition and modeling of dq axes, position sensors and sensorless control techniques used in PMSMs, FOC, DTC and applications	I, II, IV, V
8	Synchronous reluctance (SynRM) and magnet assisted synchronous reluctance motors (PMSynRM) principles, modeling, driver circuits, comparison with PMSM motors and applications	I, II, IV, V
9	Analytical designs of permanent magnet electric motors and design problems and solutions, cooling system and heat transfer, mechanical system and design examples	II, V
10	General approaches in the design of permanent magnet electric motors, application requirements, main dimension equation, design sizes and selection, sizing, design criteria and constraints	II, V
11	Based on the application requirements in permanent magnet electric motors, the structures and design sizes of the stator and rotor, winding types, slot types and sizing, air gap, phase numbers, pole numbers, etc. approaches to determining sizes	II, IV, V
12	Finite element analysis (FEA) in electrical machines and FEA software and processes used in design. Finite element analysis stages and implementation of permanent magnet electric motors with a suitable package software	III
13	Electromagnetic, thermal and mechanical numerical designs of PM motors, design problems and solutions to be encountered, evaluation of the results obtained with FEA, optimization and case studies.	III, V
14	Term project presentations and evaluation	II, III, IV, V

Dersin Elektrik Mühendisliği Öğrenci Çıktılarıyla İlişkisi

	Programın mezuna kazandıracığı bilgi ve beceriler (programa ait çıktılar)	Katkı Seviyesi		
		1	2	3
1	Mühendislik, fen ve matematik ilkelerini uygulayarak karmaşık mühendislik problemlerini belirleme, formüle etme ve çözme becerisi.			X
2	Küresel, kültürel, sosyal, çevresel ve ekonomik etmenlerle birlikte özel gereksinimleri sağlık, güvenlik ve refahı göz önüne alarak çözüm üreten mühendislik tasarımı uygulama becerisi.			X
3	Farklı dinleyici gruplarıyla etkili iletişim kurabilme becerisi.		X	
4	Mühendislik görevlerinde etik ve profesyonel sorumlulukların farkına varma ve mühendislik çözümlerinin küresel, ekonomik, çevresel ve toplumsal bağlamdaki etkilerini göz önünde bulundurarak bilinçli kararlar verme becerisi.		X	
5	Üyeleri birlikte liderlik sağlayan, işbirlikçi ve kapsayıcı bir ortam yaratan, hedefler belirleyen, görevleri planlayan ve hedefleri karşılayan bir ekipte etkili bir şekilde çalışma yeteneği becerisi.			X
6	Uygun deney geliştirme, yürütme, verileri analiz etme ve yorumlama ve sonuç çıkarmak için mühendislik yargısını kullanma becerisi.		X	
7	Uygun öğrenme stratejileri kullanarak ihtiyaç duyulduğunda yeni bilgi edinme ve uygulama becerisi.			X

Ölçek: 1: Az, 2: Kısmi, 3: Tam

Relationship of the Course to Electrical Engineering Student Outcomes

	Program Student Outcomes	Level of Contribution		
		1	2	3
1	An ability to identify, formulate, and solve complex engineering problems by applying principles of engineering, science, and mathematics.			X
2	An ability to apply engineering design to produce solutions that meet specified needs with consideration of public health, safety, and welfare, as well as global, cultural, social, environmental, and economic factors.			X
3	An ability to communicate effectively with a range of audiences.		X	
4	An ability to recognize ethical and professional responsibilities in engineering situations and make informed judgments, which must consider the impact of engineering solutions in global, economic, environmental, and societal contexts.		X	
5	An ability to function effectively on a team whose members together provide leadership, create a collaborative and inclusive environment, establish goals, plan tasks, and meet objectives.			X
6	An ability to develop and conduct appropriate experimentation, analyze and interpret data, and use engineering judgment to draw conclusions.		X	
7	An ability to acquire and apply new knowledge as needed, using appropriate learning strategies.			X

Scaling: 1: Little, 2: Partial, 3: Full

<u>Tarih (Date)</u> 06 Ocak 2022	<u>Bölüm onayı (Departmental approval)</u>
-------------------------------------	--

Ders kaynakları ve Başarı değerlendirme sistemi (Course materials and Assessment criteria)

Ders Kitabı (Textbook)	J. R. Hendershot, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors," Oxford University Press, 1994.		
Diğer Kaynaklar (Other References)	<ol style="list-style-type: none"> 1. J. Pyrhonen, T. Jokinen, V. Hrabovcova, "Design of Rotating Electrical Machines," Wiley, 2008. 2. D. Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design," Magna Physics P., 2006. 3. P.C. Krause, O. Wasynczuk, S. Sudhoff, "Analysis of Electric Machinery," IEEE Press, 1995. 4. J. Gieras, M. Wing, "Permanent Magnet Motor Technology," Marcel Dekker, New York, 1997 5. T. Kenjo, "Permanent Magnet and Brushless DC Motors," Clarendon Press, Oxford, 1989. 6. Essam S. Hamdi, "Design of Small Electrical Machines," WILEY, 1998. 7. Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery," Prentice Hall, 1998. 8. Nicola Bianchi, "Electrical Machine Analysis Using Finite Elements," Taylor-Francis, 2005. 9. Peter Vas, "Electrical Machines and Drives," Clarendon Press, Oxford, 1992. 10. A. E. Fitzgerald, "Electric Machinery," McGraw-Hill, 2002. 11. S. J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals," 3rd ed., McGraw-Hill, 1999. 12. T. J. Maloney, "Modern Industrial Electronics," 5th Ed., Prentice Hall, 2001. 13. M. H. Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices," Applications, Prentice Hall, 1993. 14. N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, "Power Electronics," John Wiley-Sons, 2003. 15. P. C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics," John Wiley-Sons, 1997. 		
Ödevler ve Projeler (Homework & Projects)	Dönem sonu projesi		
	Term project		
Laboratuar Uygulamaları (Laboratory Work)	-		
	-		
Bilgisayar Kullanımı (Computer Usage)	<ul style="list-style-type: none"> • MATLAB veya Mathematica • Simulink veya VisSim, PLECS, PSIM • Sonlu elemanlar analiz (FEM) yazılımı (Ansoft Maxwell, Magsoft Flux, JMAG, Infolytica veya FEMM) • C, C++, Python veya Fortran • MS Word, Excel, Power Point, Latex 		
	<ul style="list-style-type: none"> • MATLAB or Mathematica • Simulink or VisSim, PLECS, PSIM • Finite Element Analysis (FEA) software (Ansoft Maxwell, Magsoft Flux, JMAG, Infolytica, FEMM) • C, C++, Python or Fortran • MS Word, Excel, Power Point, Latex 		
Diğer Uygulamalar (Other Activities)	-		
	-		
Başarı Değerlendirme Sistemi (Assessment Criteria)	Faaliyetler (Activities)	Adedi (Quantity)	Genel Nota Katkı, % (Effects on Grading, %)
	Yıl İçi Sınavları (Midterm Exams)	1	30
	Kısa Sınavlar (Quizzes)	2	10
	Ödevler (Homework)		
	Projeler (Projects)		
	Dönem Ödevi/Projesi (Term Paper/Project)	1	20

Laboratuvar Uygulaması (Laboratory Work)		
Diğer Uygulamalar (Other Activities)		
Final Sınavı (Final Exam)	1	40