

RESEARCH LEAGUE YILLIK ÇALIŞMA RAPORU

Göksenin Hande BAYAZIT – handebayazit@gmail.com

Temmuz 2018

Bu rapor, 2017-2018 akademik yılında Research League (RL) bünyesinde özellikle elektrik makine tasarım ve analizi bünyesinde yaptığım çalışmaları içermektedir. Raporun içeriği kısaca:

1. Maxwell2D ve Rmxprt kullanımı hakkında ufak ipuçları
2. IMMD projesinde kullanılan motorun tasarlanma süreci ve tasarım koşulları hakkında bilgi

şeklinde özetlenebilir.

1. Maxwell Kullanımı

RL için makine tasarımı alanında çalışmayı düşünen öğrenciler ilk görevlerinde (challenge) FEMM veya Maxwell kullandıkları için finite element analysis (FEA) mantığına aşina olacaktır. Maxwell FEMM'e göre biraz daha karışık olsa da kurcalayarak ve pratik yaparak kısa bir sürede analizleri yapıp yorumlayabilecek kadar bilgi sahibi olunabilecek bir program. Bu sürede bazı YouTube kanalları da **destek almak için** faydalı olabilir (Örn: [kamyar K](#)) ancak **bu videoların içeriği güzel olsa da biraz uzun ve harcanan vakte karşılık öğrenilen bilgi az olduğu için ben çok verimli bulmuyorum, sadece tutorial izleyerek öğrenmeyi tavsiye etmiyorum**. Zaten en iyi öğrenme metodunun uygulayarak öğrenme olduğunu düşünüyorum.

Maxwell kullanmayı öğrenirken benim izlediğim yol önce hazırda var olan bir modelin analizini yapıp onun üzerinde ufak değişiklikler yaparak sonuçları yorumlamak oldu. Bunun için IMMD projesindeki motorun tasarım dosyasının versiyonlarından bir tanesini bu raporun da içinde olduğu GitHub repo'suna ekliyorum ([8kw.aedt](#)). Bu dosyanın içinde hem

2D hem de Rmxprt tasarımları olduğu için ikisi üzerinde de çalışılıp sonuçlar karşılaştırılabilir.

Maxwell kullanmaya/öğrenmeye Rmxprt ile başlamak daha iyi bir seçim olur, çünkü arayüzü sıfırdan makine tasarlamak için çok daha kolay ve uygun. Çoğu özelliği, hesaplaması ve ayarları default (Türkçesi ne ki?). Yeni başlanan ve Rmxprt'te düzenlenen bir tasarımı bu analizleri inceledikten sonra detayıyla o tasarımı 2D'ye aktarıp yapmak işleri oldukça kolaylaştırıyor.

Bu noktada en çok işimize yaramış ve başkalarının da işine yarayacağını düşündüğüm bazı özellikler ve çalışma metotları:

- Hem Maxwell2D'nin hem de Rmxprt'in örnek tasarım dosyaları. Program Files'taki Ansys klasöründe oluyor. Örneğin yeni bir tasarım yaparken bir parametrenin ne olması gerektiğini tam kestiremediğiniz zaman bir örnek dosyasına açıp bakıp ona göre yorum yapabiliyorsunuz.
- Parametrik analiz. Project>Project Variables kısmından yeni parametre oluşturup, o parametreyi tasarım üzerinde herhangi bir noktada kullanıp Optimetrics kısmından seçtiğiniz parametreleri sweep ederek analiz yapabiliyorsunuz. Bu seçilen değişkenlere bağlı analiz imkânı sunduğu için belli parametreleri belirlemekte çok kullanışlı oluyor.
- Maxwell2D'de analiz yaparken mesh boyutunu ve simülasyon süresini/stepini değiştirmek. Herhangi bir değişkene bağlı analiz yaparken 2D simülasyonda çok vakit kaybetmemek, kabaca fikir sahibi olup ona göre ilerlemek ve detaylı analize ondan sonra geçmek için bunu uygulamak çok faydalı olacaktır.
- (Sadece Maxwell özelliği olarak değil) Versiyon kontrolü. Bir proje ve tasarım üzerinde çalışırken tasarım gerçekten çok fazla değişik versiyondan ve aşamadan geçiyor, proje sürecinde tasarımın o anki halinden vazgeçip önceki haline dönüp o halini modifiye etmek istiyorsunuz (branch değiştirir gibi). Bu noktada versiyon kontrolü kullanmayıp her tasarımı farklı isimle kaydetmeye çalışmak işlerin cidden kaotik bir boyuta gelmesine sebep olabiliyor. Bu yüzden tasarım üzerinde herhangi bir güncelleme yapıldıktan sonra bunu GitHub'a atılmasını ve commit açıklamalarının

“asdghshg” şeklinde değil açık açık yazılmasını ben şiddetle tavsiye ediyorum. Sonrasında işleri kolaylaştırıyor.

- Not: Çözüm dosyalarını GitHub’a atmak çok yer tuttuğu için iyi bir fikir değil, bu yüzden çalışırken lokalde çalışıp commitlemeden hemen önce son tasarımı GitHub reposuna kaydetmek daha iyi bir çözüm olabilir.

2. IMMD Projesindeki Motorun Tasarım Süreci

IMMD projesindeki motor (PMSM), ben çalışmaya dahil olduğumda hali hazırda tasarlanmıştı. Bu noktada benim üzerime düşen tasarım sürecini öğrenmek, bir daha gözden geçirmek ve tasarım üzerindeki çeşitli değişkenlerin değiştiği durumda motorda ne gibi değişiklikler olduğuyla ilgili gözlem yapmaktı. (Bu parametrik tasarım repo’nun içindeki **Designfile.V1.1.xlsx** dosyasında bulunuyor.)

İlerleyen üretim sürecinde, üreticiyle görüşmelerimiz devam ettikçe motorun çapından ötürü (300 mm) uygun kasa bulmakta sıkıntı yaşanacağı ortaya çıktı. Bu nedenle en baştan yeni bir tasarım yapılması ihtiyacı doğdu. Elde var olan kasaların çapları 240 mm ve 270 mm olduğu için iki yeni tasarım yaptık. Benim yaptığım tasarımın raporu da repo’da **EE564_PROJECT2byGHB.pdf** ismiyle mevcut.

Tasarım sürecinde izlediğim yöntemlerin bazıları ve bu işi öğrenme sürecim aşağıdaki kabaca şu şekilde:

2017-2018 yılı 1. döneminde katıldığım motor tasarımı seminerinde konsept hakkında genel olarak fikir sahibi oldum. **Öncelikle manyetik devrelerle başlayan bu eğitim daha sonra inductor tasarımı, transformer tasarımı, MMF ve winding bilgisi, stator ve rotor tasarımı, motor tasarımındaki diğer detaylar, termal ve mekanik sınırlar gibi konular hakkında bilgi sahibi olmamı sağladı.** Öğrenirken bu sırayla gitmenin çok faydalı olduğunu düşünüyorum.

Ayrıca ikinci dönem aldığım EE564 (Design of Electrical Machines) dersi de bu konuların üzerinden daha detaylı bir şekilde geçtiği için bilgimi pekiştirmiş oldum. Bu dersin içeriği Ozan Hoca’nın EE564 slaytlarında mevcut. (Link: <http://keysan.me/ee564>) Ayrıca EE564

dersi kapsamında yaptığımız projeler (ödevler), motor tasarımı seminerinde yaptığımız ödevler ve geçmiş yıllarda yapılan projeler için repo'ların linkini aşağıya ekledim.

- <https://github.com/ghandeb/EE564>
- <https://github.com/odtu/ee564-2018>
- <https://github.com/odtu/ee564>

Derste kullandığımız bir diğer kaynak da ders kitabıydı. Kitapta konular anlaşılır şekilde anlatılıyor ve örnekler de gayet açıklayıcı. Kitabın bilgileri şu şekilde (pdf hali malum ortamlarda mevcut, 155 \$'ınız varsa kendisi de internette mevcut):

- Design of Rotating Electrical Machines, Wiley, 2nd Edition, Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova ISBN: 978-1-118-58157-5

Tasarım ve analiz esnasında dikkat edilmesi gerektiğini düşündüğüm "bottleneck" olabilecek bazı konular ise şöyle:

1. Fill factor. 40-45% civarında kalmalı üretilebilirlik açısından. 70% fill factor pek realistik değil.
2. Stator teeth flux density. Bu zaten tasarım esnasında da B değerlerini hesaplarken bottleneck olacak bir değer. (En yüksek burada oluyor çünkü.) 1.5-1.6 T'nin üzerine çıkmamalı, core loss ve ısınmayı çok artırmamalı.
3. J (current density). Soğutma çeşitlerine göre bu değer değişse de standart hava soğutmalı bir sistem için 4.5-5 A/mm²'nin üzerine çıkmamalı, aksi takdirde kablolar fazla ısınacağı için yalıtkanların bozulmasına ve en sonunda motorun yanmasına neden olur.
4. C_{mech} (machine constant). Bu değer electric loading ve magnetic loading'e bağlı, herhangi bir güçteki motor için uygun loadingler altında uygun boyutlar seçilmesini sağlıyor.

Bu raporda yaptığım işleri ve benzer yoldan geçecek biri için tavsiyelerimi kısaca özetlemeye çalıştım. Daha detaylı bilgi ve sorular için e-mail adresim raporun başında mevcut.