

Solenoid Valfler için Adaptif PWM Kontrol Kartı Tasarımı

Adaptive PWM Control Board Design for Solenoid Valves

Ahmet Özkaya¹

¹Ar-Ge Birimi

SMS Sanayi Malzemeleri Üretim ve Satışı A.Ş., Kocaeli

ahmet.ozkaya@smstork.com

Özetçe

Solenoid vanalar, endüstride ve ev uygulamalarında akışkanların kontrolü için kullanılan hızlı açma kapama yapabilen kontrol elemanlarıdır. Bu vanalar temel olarak çekirdeğin solenoid bobin içinde hareket ettirilmesiyle çalışırlar.

Solenoid bobinlerde bobin içindeki çekirdeğin hareket edebilmesi için gerekli bir güç değeri vardır. Bu güç değerine çekme gücü denir. Çekirdek hareket edip tepeye yapıştıktan sonra onu orada tutabilmek için gerekli olan güce ise tutma gücü denir. Çekme için gereken kuvvet her zaman tutma kuvvetinden fazladır. Standart solenoid bobinlerde güç kontrolü yapılmadığı için bobin sürekli olarak maksimum güçte çalışmaktadır. Aradaki bu güç farkı aslında boşa giden enerjidir. Ayrıca bobinin ısınmasına neden olup kullanım ömrünü ve bobin gücünü azaltmaktadır.

Adaptif PWM soket, çekirdeğin hareket edebilmesi için gerekli gücü verdikten sonra tepeye yapışık halde tutulmasına yetecek kadar güç iletilmesi sağlar. Böylece hem enerjiden tasarruf edilir hem de düşük akım tüketerek bobinin ısınmasını ve güçten düşmesini engellemiş olur.

Abstract

Solenoid valves are control elements that can quickly open/close, used for control of fluids in industry and household applications.

In solenoid coils, there is required power value for the core in coil to move. This power value is called pulling power. After the core adhere the top, the power required to keep it there is called the holding power. The force required for pulling is always greater than the holding. Since there is no power control in standard solenoid coils, the coil is constantly operating at maximum power. This power difference is wasted energy. In addition, it causes the coil to heat up, reducing its service life and coil power.

The adaptive PWM socket provides enough power to keep the core attached to the top, after giving it the necessary power to move. Thus, it saves energy and prevents the coil from heating up and losing power.

1. Giriş

Solenoid vanalar, elektromanyetik alan kullanarak akışkanların kontrolünü sağlayan elektromekanik cihazlardır. Bu vanaların çalışması, bir elektromıknatısın ya da solenoid

bobinin manyetik alan oluşturması ve bu alanın vananın açılması veya kapanması için gerekli olan mekanik hareketi sağlaması prensibine dayanır. Solenoid vanalar, birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır ve sıvı ve gaz akışkanlarının hassas kontrolü için önemlidir.

Solenoid vanalar kontrol yöntemine göre aç/kapat ya da oransal kontrollü olarak iki çeşit de üretilir. Mekanik yapısına göre ise onlarca farklı modelde üretilip çok farklı uygulamalarda sıklıkla kullanılırlar [1].

Solenoid bobin, solenoid vana gibi elektromekanik cihazların çalışması için gerekli olan bir parçadır. Bobin, bir tel sarımının manyetik bir alan oluşturması prensibine dayanır.

Solenoid bobinler, çoğunlukla bakır veya alüminyum telden yapılmıştır ve çoğunlukla manyetik bir çekirdek etrafına sarılır. Elektrik akımı bobine uygulandığında, bobin içindeki manyetik alan oluşur ve bu alan, manyetik çekirdek üzerinde bir kuvvet oluşturarak vananın açılmasına veya kapanmasına neden olur [2].

Solenoid bobinler farklı boyutlarda ve direnç değerlerinde mevcuttur. Bobin direnci, bobine uygulanacak gerilim ve akımın dikkate alınarak seçilir. Ayrıca, bobinlerin çalışma sıcaklığı ve maruz kalacakları çevresel faktörler de seçimde önemli bir rol oynar.

Solenoid vanaların mekanik yapısından dolayı kovan içerisindeki çekirdeğin ilk hareketi için gereken güç değeri hareketini tamamladıktan sonra durumunu koruması için gereken güç değerinden azdır. Solenoid vanalar açıldıktan sonra besleme gerilimi düşürülürse hem konumunu koruyacak hem de enerji tasarrufu sağlayacaktır.

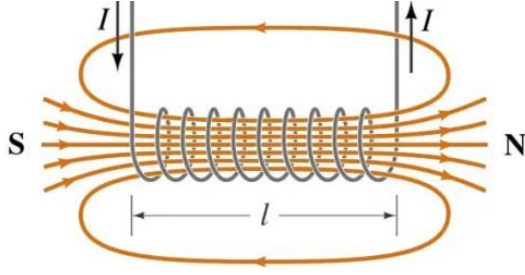
Bu fikirden hareketle gerilim kontrolü yapan soket tasarlanmıştır. Ayrıca ek kontrol yöntemleriyle tasarım daha güvenilir ve uygulanabilir hale getirilmiştir.

2. Tasarım

Bu çalışma DC gerilimle çalışan solenoid bobinler için yapılmıştır.

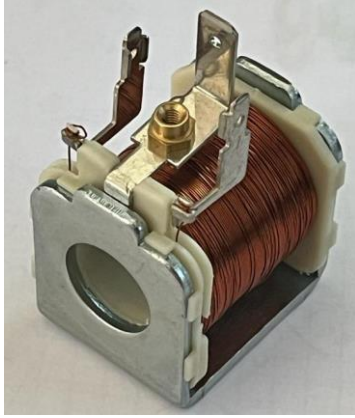
1.1. Bobinin Karakteristik Yapısı

Solenoid bobinler genellikle ferromanyetik metal bir çekirdek etrafına sarılmış bir tel bobin şeklindedir. Elektrik akımı bobine uygulandığında, bobin manyetik bir alan üretir ve bu manyetik alan, çekirdekteki manyetik özellikleri harekete geçirerek çekirdeği manyetize eder. Şekil 1'de manyetik alan kuvvet çizgileri görülmektedir [3].



Şekil 1: Solenoid manyetik alan kuvvet çizgileri

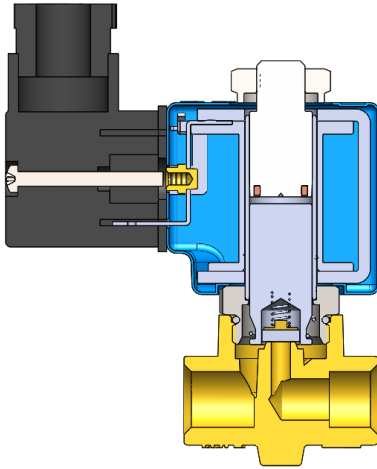
Solenoid bobinler, oluşan bu manyetik alandan maksimum verim elde etmek için, manyetik alanın üzerinden geçeceği bir ferromanyetik sac ile kapatılırlar. Bir solenoid bobinin temel yapısı Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2: Solenoid bobin iç yapısı

1.2. Solenoid Valfin Temel Yapısı ve Çalışma Prensibi

Sanayide veya evlerde kullanılan solenoid valfler genel olarak üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar kovan-çekirdek takımı, valf bobini ve valf gövdesidir. Bu üç parça kendi içlerinde değiştirilerek çok farklı şekilde ve ölçülerde solenoid valfler yapılabilir [4]. Ancak hepsinin temel çalışma yapısı aynıdır.



Şekil 3: Solenoid valf kesiti

Kovan içinde yer alan ferro-manyetik çekirdek yay baskısıyla gövde içinde bulunan ve orifis olarak adlandırılan akışkanın geçtiği kanalı kapatır.

Bobin enerjilendirildiğinde ise oluşan manyetik alan çekirdek yay kuvvetini yenerek, çekirdeği tepe noktasına çeker ve orifis açılır. Akışkan bu kanaldan geçerek yoluna devam eder.

Enerji kesildiğinde manyetik alan ortadan kalkar ve yay tekrar çekirdeği iterek kanalı kapatır ve akış durur.

1.3. Bobinin Elektriksel Karakteristiği

Bobinler farklı voltaj ve güç değerlerinde üretilebilirler. AC ve DC gerilimler için tel çapı ve sarım sayısı farklıdır. Sarımda kullanılan tel çapı ve sarım sayısı bobin direncini belirlemektedir (1). Tel direnci direkt olarak akım değerini belirlemektedir. Akım değeri ve sarım sayısı ise oluşacak olan manyetik alanın kuvvetinin büyüklüğünü (2) belirlemektedir.

$$R = \rho (l/A) \quad (1)$$

R: iletkenin direnci, ohm (Ω)

A: iletkenin kesiti (mm^2)

l: iletkenin boyu, metre (m)

ρ : öz direnç ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

$$B = \mu Ni \quad (2)$$

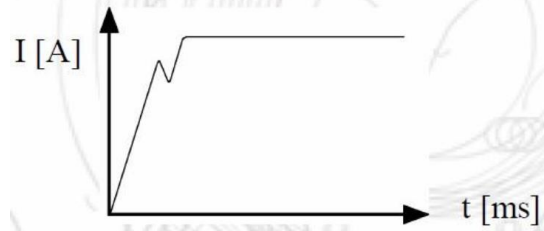
B: manyetik akı yoğunluğu, (T)

μ : manyetik geçirgenlik sabiti,

N: sarım sayısı

i: akım, (A)

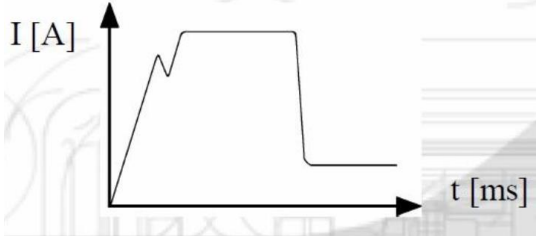
DC gerilimle çalışan bobinlerde bobin enerjilendirildiğinde akım miktarı artmaya başlar. Bu akım değeri çekirdeği hareket ettirecek seviyeye ulaştığında düşmeye başlar. Çekirdek hareketini tamamlayıp tepe ile birleştiğinde akım tekrar artarak ohm yasasına göre olması gerek seviyeye gelir ve sabitlenir. Şekil 4’te zamana bağlı olarak çekilen akım grafiği görülmektedir. Bu grafikten valfin açılmaya başladığı süre ile tam açılana kadar geçen süre de görülmektedir.



Şekil 4: Standart soketli bobin için akım zaman grafiği

Grafikten ayrıca çekirdeğin ilk hareketi için gerekli olan minimum akım değeri (ilk tepe noktası), valfin çalışabilmesi için gereken minimum güç değerini de vermektedir. Bu güç değeri ilk hareket durumu için geçerli olan değerdir. Çekirdeğin tepeye yapışık halde durması için gerekli olan güç değeri bu değerden daha düşüktür.

Latching solenoid valfler dışında, neredeyse bütün valfler çalışma durumunda sürekli olarak enerjide kalmak durumundalar. Bu durum enerji tasarrufu sağlamayı daha da önemli hale getirmektedir. Harcanan güç, sistemden çekilen akımın karesi ile orantılı olduğu için akım değerinin düşürülmesi önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 5: APWM soketli bobin için akım zaman grafiği

Şekil 5’de ise valfin açılması garanti edildikten sonra (bunun için belli bir süre bekleniyor) bobine verilen gerilim değeri ön ayarlı değerlere düşürülerek hem enerji tasarrufu sağlanıyor hem de bobinin ısınması önlenerek kullanım ömrü artıyor.

1.4. Kontrol Kartının Tasarımı

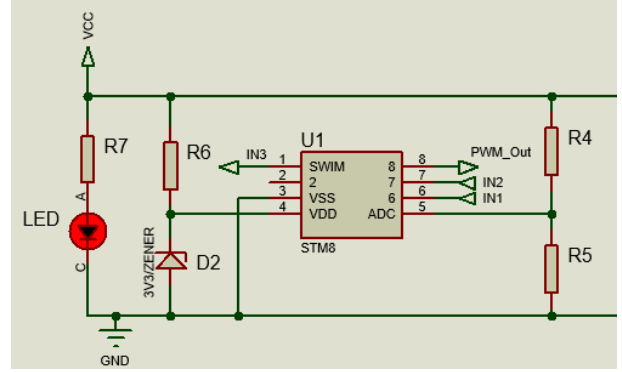
Kontrol kartı tasarlanırken iki farklı durum göz önüne alınmıştır. Bunlardan ilki besleme geriliminin ölçülmesi, diğeri ise kazanç oranının belirlenmesidir. Besleme gerilimi ADC çevre birimi kullanılarak ölçülmüştür. Bu analog değer dijital veriye çevrilerek mikroişlemci tarafından işlenmiştir. Kazanç oranı ise üç farklı dijital girişten (DI) alınarak kontrol sistemine aktarılmıştır. Bu üç farklı dijital veri $2^3=8$ kademe kazanç oranı olarak kullanılmıştır.

Tablo 1: Kazanç oranı tablosu

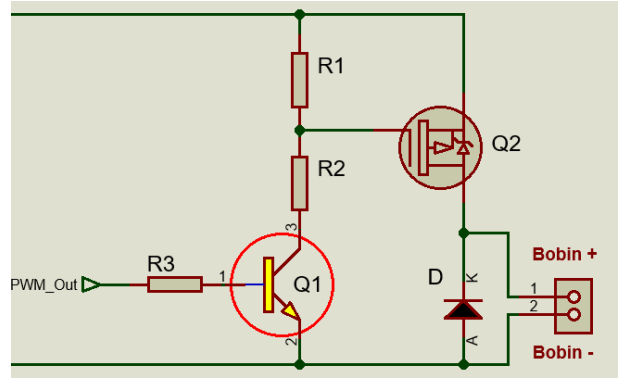
Program	DI1	DI2	DI3	Kazanç Oranı %
1	0	0	0	11
2	0	0	1	22
3	0	1	0	33
4	0	1	1	44
5	1	0	0	56
6	1	0	1	67
7	1	1	0	78
8	1	1	1	89

1.4.1 Kontrol Kartının Donanımsal Tasarımı

Kartı, analog ve dijital giriş okuyabilen ve PWM ile çıkış üretebilen bir mikro işlemci tarafından yönetilmektedir. PWM ile transistör ve mosfet devreleri tetiklenmekte bu şekilde bobin besleme enerjisi kontrol edilmektedir. Ayrıca bobin üzerinde enerjili olduğunu gösteren led de yer almaktadır. Kartın şematik yapısı Şekil 6 ve Şekil 7’de görülmektedir. Ayrıca üretimi tamamlanmış kart Şekil 8’de yer almaktadır.



Şekil 6: Kontrol sistemi şematik tasarımı



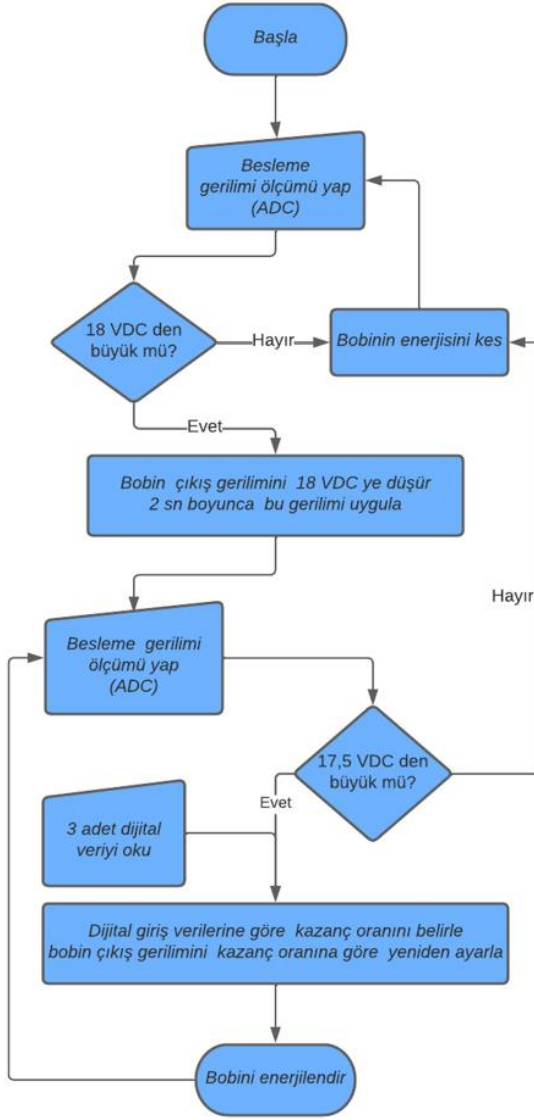
Şekil 7: Sürücü sistemi şematik tasarımı



Şekil 8: APWM kontrol kartı

1.4.2 Kontrol Kartının Yazılımsal Tasarımı

Kart üzerinde yer alan yazılım iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ilk tetikleme ikinci kısımda ise kontrol kısmı yer almaktadır. Kart yazılımının akış şeması Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9: APWM yazılımının akış şeması

Kontrol kartının yazılımı yapılırken aşağıdaki önemli noktalara dikkat edilmiştir.

- 18 VDC ile çalışan tek tip bobin kullanılacağı için besleme gerilimi ne olursa olsun bobine maksimum 18 VDC gerilim vermek için besleme gerilimini ADC ile okumak ve çıkış gerilimini bu seviyeye çekmek,
- Besleme gerilimi 17.5 VDC'nin altına düştüğünde çıkış gerilimini sıfıra çekmek ve 18 VDC'nin üzerine çıktığında işlemleri baştan yapmak,
- Kart üzerinde yer alan pin durumlarına göre kazanç oranını sürekli güncellemek.

3. Test ve Değerlendirme

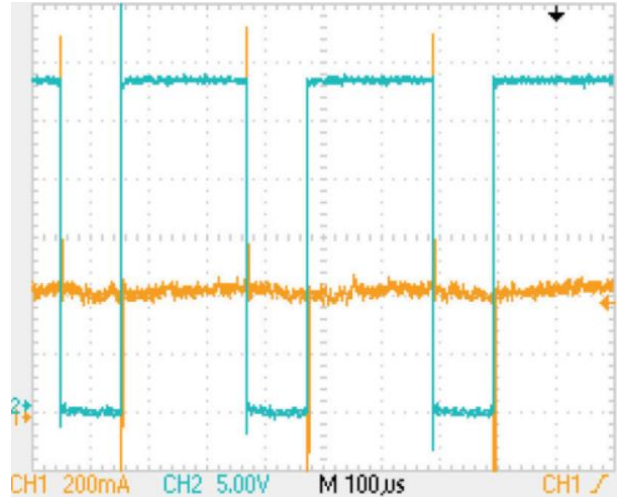
Bobin çıkış geriliminin DC gibi görülebilmesi için PWM frekansının yüksek seçilmesi gerekmektedir. PWM anahtarlama frekansı 2.5 kHz olarak seçilmiş ve bu şekilde sürekli bir akım elde edilmiştir. Anahtarlama frekansının

enerjili ve enerjisiz olduğu aralıkları ise kazanç oranı belirlemektedir.



Şekil 10: Bobinin ilk enerjilenme ve kazançlı akım zaman grafiği

Şekil 10'da yer alan osiloskop görüntüsünde bobin 400 mA akım tüketmeye başlayınca, çekirdeğin ilk hareket için yeterli güce ulaşılmış, hareketi süresince bu akım değeri düşmüştür. Çekirdek tepeye yapıştığına ise akım artarak gerçek bobin güç değerine ulaşmıştır. Çekirdeği tepede yapışık halde tutması için gereken enerji ilk hareket için gereken enerjiden az olduğu için bobin gerilimi %67 oranında düşürülmüştür. Bu durumda çekilen akım da aynı oranda düşmüş ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 11: Bobin çıkış akım ve gerilim grafiği

Bobin üzerine uygulanan gerilim kare dalga şeklindedir. Ancak bu kare dalga frekansı yüksek olduğu için çekilen akım dalgalı değil DC şeklindedir. Şekil 11'de gerilim ve akım grafikleri osiloskop görüntüsü olarak verilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu alışma sonucunda solenoid valfin çalışma karakteristiğine uygun olarak kontrol kartı tasarımı yapılmış ve üretime geçilmiştir. Üretilen karta özel yazılım yapılmış ve kart test edilmiştir.

Test yapılırken 18 VDC ile çalışan solenoid bobini kullanılmış ve test sonuçları osiloskop ile ölçülmüştür. Test edilen kartın çalışmasına ait beklenen grafikler elde edilmiş, kartın beklenen faydaları sağladığı görülmüştür.

Kaynakça

- [1] Jibril, Mustefa, Messay Tadese, and Eliyas Alemayehu. "Position control of a solenoid based linearly movable armature system using robust control technique." (2020).
- [2] Zhang, Bin, et al. "Self-correcting PWM control for dynamic performance preservation in high speed on/off valve." *Mechatronics* 55 (2018): 141-150.
- [3] Aslan, U. (2023,07,11). Bobin Nedir? <https://akademi.robolinkmarket.com/bobin-nedir/>
- [4] Taghizadeh, M., A. Ghaffari, and F. Najafi. "Modeling and identification of a solenoid valve for PWM control applications." *Comptes Rendus Mecanique* 337.3 (2009): 131-140.