

Üç Fazlı Faz Kontrollü Tiristör Anahtar

İsmail AKÇAKMAK

ODTÜ

ÖZET

Elektrik makinaları ve AÇ devrelerinde geçici rejimlerin teorik yönden oldukça önemsenmesine rağmen, teorik çalışmaların, geçici rejim sırasındaki deneysel ölçmeler ile direkt karşılaştırması çok az yapılmıştır. Doğru ve duyarlı bir anahtarlama cihazının olmaması elektrik makinalarının geçici rejim halindeki akım durumlarının incelenmesini engellemiştir. Bu yazıda anlatılan üç fazlı, faz açısı kontrollü tiristör anahtar kısa devre veya güç kaynağının uygulanması gibi anahtarlama işlemleri nedeni ile elektrik sistemlerinde meydana gelen geçici rejimlerin sistematik olarak deneysel çalışmalarının yapılabilmesi olanağı sağlamaktadır.

SUMMARY

in spite of considerable theoretical interest in transients in AÇ networks and electrical machines, very little direct comparison with experimental measurements during transient conditions has been made. Current investigations into the transient behaviours of electrical machines are hampered by a lack of a precise switching equipment. The three phase, phase angle controlled semiconductor switch described in this article allows systematic experimental studies to be made of transients in electrical systems due to switching operations such as the application of the supply or the occurrence of a short circuit.

1. GİRİŞ

Geçici rejim zamanı çok kısa olmasına rağmen, ani yük değişimleri, kısa devre veya güç kaynağının sisteme uygulanması gibi anahtarlama işlemleri sonucu meydana gelen geçici rejim akımlarının elektrik makinaları ve AÇ devreleri üzerindeki etkisi çok önemlidir.

örneğin, normal çalışma sırasında alternatördeki bir kısa devre veya yükün aniden değişmesi sonucu meydana gelen geçici rejim akımları, alternatör üzerinde tehlikeli olabilecek mekanik kuvvetlere neden olabilir. Dengeli çalışan bir sistemde bir motora güç uygulaması sırasında motor tarafından çekilen çok yüksek değerdeki akım, sistemin geçici bir süre için dengesinin bozulmasına yol açar. Devre kesicilerinin seçiminde, elektriki yalıtım konuların-

da geçici rejim akımlarının incelenmesi gerekir.

Basit örneklerle önemi belirtilmeğe çalışılan geçici rejim akımlarının ilk andaki değerleri ve zamanla değişimleri direkt olarak gerilim eğrisi üzerinde gücün uygulandığı veya kısa devrenin meydana geldiği noktaya bağlıdır, örneğin, bir indüksiyon motoruna güç gerilim eğrisinin sıfır noktasında uygulanırsa geçici rejim akımları en yüksek değerlerini alır. Güç uygulaması gerilim eğrisi üzerinde çeşitli noktalarda yapıldığında geçici rejim akımları her defasında ayrı özellik gösterir. Kısa devre için de durum aynıdır.

Normal mekanik anahtar ile gerilim eğrisi üzerinde istenen bir noktada geçici rejime neden olan anahtarlama işleminin yapılması olanağı

yoktur. Uygulama noktasını kontrol olanağı olmadığından, anahtarlama işlemi sonucu kaydedilecek geçici rejim eğrileri her defasında ayrı şekil gösterecektir. Aynı geçici rejim eğrisinin elde edilmesinde ancak anahtanın gerilim eğrisi üzerinde rastgele bir önceki noktada kapanmasına bağlıdır.

Mekanik anahtar ile üç fazı aynı anda kapatma olanağı da yoktur. Fazlar arasında meydana gelecek en küçük zaman gecikmesi geçici rejim deneylerinde yanlış sonuçlar verir. Son yıllarda, geçici rejim ile ilgili teorik çalışmaların yanında deneysel araştırmaların da önemsenmesi ile uygun ve duyarlı bir anahtarlama cihazının tasarımı konusunda bazı çalışmaların yapılmasına başlandı, ilk çalışmalar sonucu röle-lamba (thyatron) devresi kullanılarak tek fazlı bir anahtarlama cihazı tasarımı yapıldı. Basit olarak bir darbe devresi ve bir faz kaydıncıdan meydana gelen bu cihazda, darbelerin thyatron'u ateşlemesi ile röle çalışmakta ve hareketli kontakların kapanması sonucu tek faz anahtar kapalı duruma geçmektedir. Anahtanın çalışma zamanı ateşleme devresinin ayarlanması ile kontrol edilmektedir.

50 Hz güç kaynağı için yaklaşık olarak 1° ye kadar duyarlık gösteren, bu anahtarlama cihazının, iki saat kadar ısınma zamanı gerektirmesi, lambanın filaman gücü, rölenin çalışması ve kontakların ayarları ile ilgili sorunlar başlıca sakıncalarıdır. Bu tek fazlı cihazı geliştiren araştırmacılar aynı çalışma esasına dayanan iki fazlı bir anahtar tasarımı yaptılar. Yan geçirenlerin devre elemanı olarak kullanıldığı bu anahtar ilk örnekteki kimi sorunları çözümlenmesine rağmen iki ayrı faz kaydıncı ve iki ayrı darbe devresinin kullanılmasını gerektiriyordu.

Bu yazıda, geçici rejim konularında yapılan teorik çalışmalara ışık tutacak deneysel çalışmaların yapılabilmesi için, her üç fazı aynı anda kontrol edebilen daha duyarlı ve basit bir anahtar, deneysel sonuçları ile birlikte tanımlanmıştır.

2. GENEL

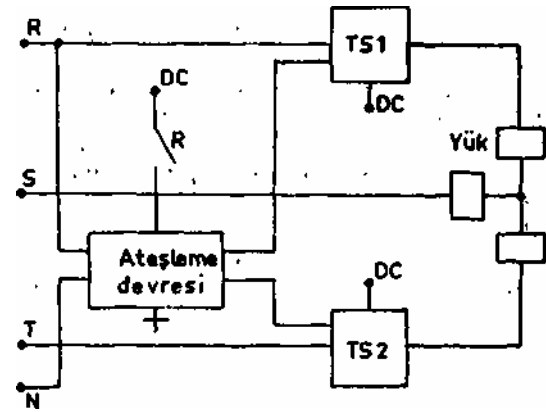
Mekanik ve diğer anahtarlama cihazlarının uygulamada gösterdikleri aksaklıkları gidermek için, ideal bir anahtarın gerektirdiği bütün özelliklere sahip olan tiristörler, cihazın ana devre veya kısa devre haline geçebilmesi, çalışması için çok az güç gerektirmesi, çevre koşullarından etkilenmemesi, az yer tutmaları ve bakıma ihtiyaç göstermemeleri başlıca üstünlükleridir.

Şekil 1'deki blok şemada görüldüğü gibi cihaz esas olarak bir ateşleme devresi ve aynı fazlara bağlanmış iki tiristör anahtardan (TS1 ve

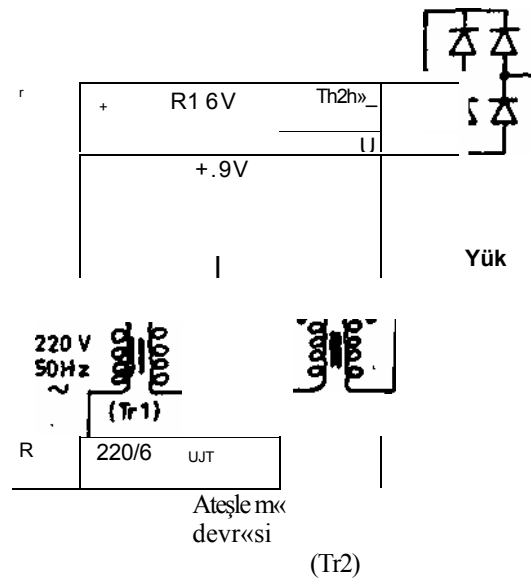
TS2) meydana gelmiştir. Ateşleme devresinin çıkışındaki çift sekonderli darbe transformatörü her iki fazdaki tiristör anahtarları kontrol etmektedir.

Darbeler bir periyotta 5° ile 175° aralığında kontrol edilebilmektedir. 380 Voltluk gerilime dayanıklı olan tiristörler 20 A sürekli akım taşıyabilmektedir. Cihazın duyarlığı elektrik makinelerinde geçici rejimlerin incelenmesi için yeterli olup 50 Hz te, seçilen bir açı ile deney sonucu elde edilen açı arasında yaklaşık olarak 10 mikrosaniye fark bulunmaktadır. Anahtar üç fazı aynı anda kapamakta ve fazlar arasındaki gecikme ihmal edilebilecek kadar küçük olmaktadır.

Önceden ayarlanan bir açıdan deney tekrarlarında aynı sonuçlar elde edilmekte ve bu da anahtarın ilgili deneylerde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Diyod ve tiristörlerin çalışma anındaki iç ön dirençlerindeki gerilim düşmesinin çok az olması nedeni ile anahtarın toplam gerilim düşme oranı yaklaşık olarak % 2.8 dir.



Şekil 1. Üç fazlı anahtarın blok şeması.



Şekil 2. Tek fazlı tiristör anahtarı.

3. TEK FAZLI TİRİSTÖR ANAHTARIN TASARIMI 1'

Üç fazlı faz kontrollü tiristör anahtarın tasarıma, Şekil 2 de devre şeması görülen tek fazlı anahtarın tasarımı yapıp olumlu deneysel sonuçlar alındıktan sonra geçilmiştir. Yazının bu bölümünde daha basit bir örnek olan tek fazlı tiristör anahtarın tanımı yapıp çalışma esasları anlatılmıştır. ~

Tek fazlı anahtarlama cihazı esas olarak,

- UJT ateşleme devresi
- DC güç kaynakları
- Tiristörler
- Diyod köprüsü

olarak dört bölüme ayrılmaktadır :

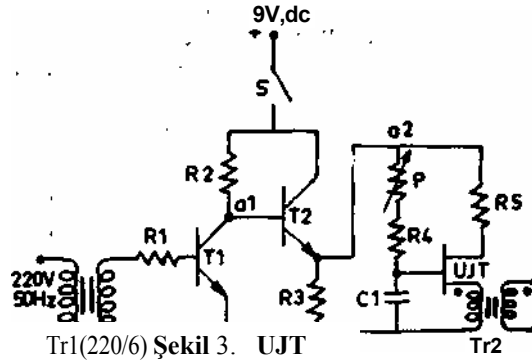
a. Tiristörlerin açık devre halinden geçiren hale geçebilmeleri için gerekli olan kapı sinyali Şekil 5 de şeması gösterilen UJT ateşleme devresinden elde edilmiştir. Darbelerin genliği 3 V ve darbe genişliği 60 mikrosaniyedir. Darbelerin salınım periyodları direkt olarak RC zaman sabitesine bağlı olup bu da Şekil 3 de P ile gösterilen değişken dirençle ayarlanabilmektedir.

b. Cihazda biri 6 V, diğeri 9 V olmak üzere iki DC güç kaynağı kullanılmıştır. 6 V luk olanı güç tiristörünün kapı sinyal kaynağı olarak 9 V luk olanı ise ateşleme devresi için kullanılmıştır.

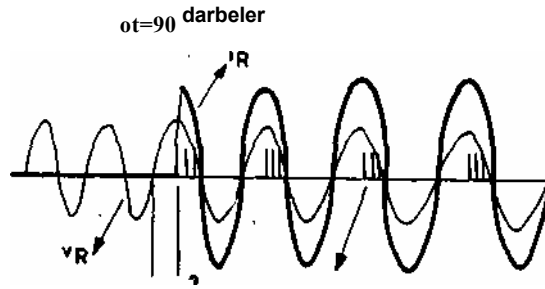
c. Taşıdıkları akımlara ve cihazdaki görevlerine göre iki ayrı cins tiristör kullanılmıştır. Kontrol tiristörü olarak tanımlanan ve Şekil 2 de Th_2 ile gösterilen tiristörün çalışmasını da taşıdığı akım güç tiristörü Th_1 in çalışması için kapışma uygulanması gereken akım değerine eşittir. Cihazdaki güç tiristörünün çalışmasını sağlamak için kapısına uygulanması gereken akım 6 V luk DC kaynağı ve 22 μ F luk akım sınırlayıcı direnç kullanılarak sağlanmıştır.

Güç tiristörünün taşıyacağı akım oranı yönünden seçiminde, anahtarlama işlemi sonucu sistemde meydana gelen geçici rejim periyodu göz önüne alınır. Tiristörlerin dayanabilecekleri akım değerleri ve zamanları kataloglarda belirlenmiş olup "cihazın kullanılacağı sisteme göre uygun olanı" seçilir.

d/1 - Diyod köprüsü' güç tiristörünün anodunun gerilim yönünden devamlı pozitif olmasını sağlar. Kullanılan diyodların akım değerleri güç tiristörlerine bağlı olarak seçilir.-



Şekil 3. UJT ateşleme devresi.



Seldi 4. Tek faz dirençte $a = 90^\circ$ için akım ve gerilim eğrisi.

4. TEK FAZLI ANAHTARIN ÇALIŞMASI

Tek fazlı anahtarın tasarımı ve denemeleri çalışmanın esas amacı olmayıp üç fazlı tiristör anahtarın tasarımı yön veren bir ara çalışmadır. Gerilimin, gerilim eğrisi üzerinde istenen noktada nasıl uygulanacağını teorik olarak açıklanması üç fazlı, faz kontrollü anahtarın çalışma esaslarının daha kolay anlaşılmasını sağlar.

Başlangıçta UJT ateşleme devresi gerilimin uygulanmak istendiği açıya ayarlanır. Darbelerin durumları daha kolayca gözlemlenebileceğinden duyarlı bir ayarlama için darbe transformatörüne bir osiloskop bağlanır. Darbelerin gerilimin uygulanacağı açıya ayarlanmasından sonra tek faz güç kaynağı uygulanır. Bu anda 9 V DC güç kaynağını ateşleme devresine bağlayan S anahtar açık olduğundan, ateşleme devresi çalışmamakta ve sonuç olarak da tiristörlerin açık devre olması nedeni ile yük üzerinden herhangi bir akım geçmemektedir. Kısaca tek fazlı anahtar açık devre halindedir. S anahtarının kapatılması ile ateşleme devresi çalışır ve darbe transformatörünün sekonderindeki darbeler, kontrol tiristörü Th_2 nin ateşlenmesi ile güç tiristörü Th_1 in kapısına 6 V DC kaynağından devamlı kapı sinyali uygulanır. Diyod köprüsü aracılığı ile anoda daima pozitif olan güç tiristörünün kapısı-

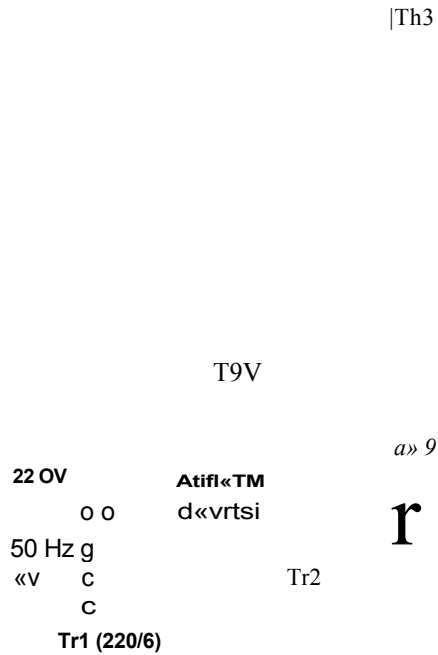
na sinyal uygulaması ile tiristörün çalışması için gerekli koşullar gerçekleştiğinden, güç tiristörü kısa devre haline geçer. Bunun sonucu, güç kaynağı tek fazlı anahtar üzerinden yüke bağlanmış olur ve aynı anda yükten akım geçmeye başlar.

Teorik açıklaması yapılan tek fa/h anahtar, bir direnç üzerine çeşitli açılarda gerilim uygulamasında denenmiştir. Bir-Ultra-Violet-Oscillograph-kaydedici aracılığı ile güç kaynağı gerilimi, darbelerin durumu ve yükten geçen akım aynı kağıda kaydedilerek karşılaştırma olanağı sağlanmıştır (Şekil 4).

<x Açısı gerilimin yüke uygulandığı açıyı göstermektedir, ilk darbenin ayarlanan açıda uygulanması ile aynı anda yükten akım geçmeye başlar, v 220 V, 50 Hz referans gerilimini i ise yükten geçen akımı göstermektedir.

5. ÜÇ FAZLI ANAHTARIN TANITIMI

Tek fazlı anahtarın deneysel çalışmalarda olum-



Şekil 5. Üç fazlı tiristör anahtar.

lu sonuç vermesinden sonra aynı esasları kul lanarak üç fazlı bir anahtarın tasarımına ge çildi. Üç fazlı anahtarda da aynı devre ele manian kullanılmıştır (Şekil 5).

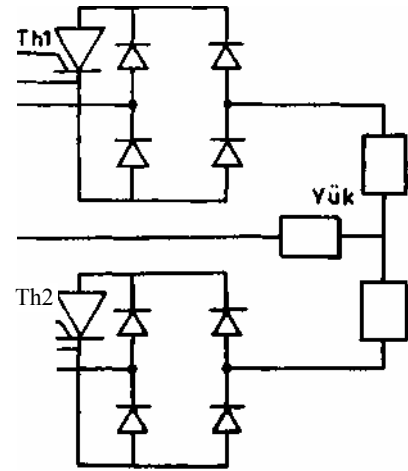
Tek fazlı anahtarda kullanılan UJT ateşleme devresi iki sekonderi olan bir darbe transfor-

matörü ile kontrol tiristörlerinin kapılarına bağlanmıştır. Üç DC güç kaynağından 6 V çıkışı olan ikisi güç tiristörlerinin kapı sinyal kaynağı olarak ve 9 V çıkışı olanı da UJT ateşleme devresinin güç kaynağı olarak kullanılmıştır. Kontrol ve güç tiristörleri ile diyodlar tek fazlı anahtarda açıklanan esaslara göre seçilmişlerdir.

Üç fazlı güç kaynağı RST ve N noktalarında sisteme uygulandığında, T ve R fazlanndakt güç tiristörleri geçiren durumda olmadıkça yükten akım geçmez.

Tiristörlerin geçiren duruma geçmeleri direkt olarak UJT ateşleme devresine güç uygulayan S anahtarı ile kontrol edilir.

Daha önceden referans olarak seçilen bir faza göre istenen ateşleme açısına ayarlanan darbeler, S anahtarının kapatılması ve darbe transformatörünün aracılığı ile kontrol tiristörlerini aynı anda ateşler. Th₃ ve Th₄ tiristörlerinin geçiren duruma gelmeleri ile güç tiris-



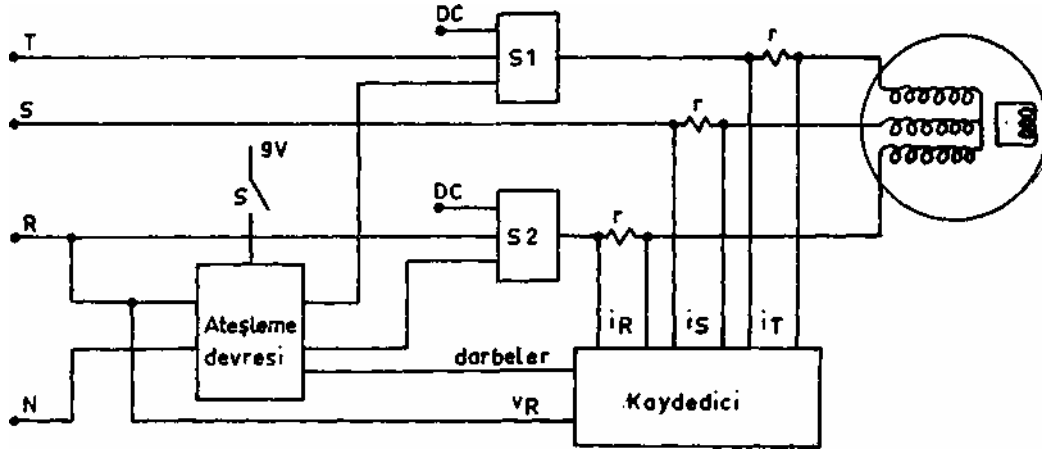
törlerinin kapılarına sinyal uygulanmış olur ve geçiren duruma gelen Th₃ ve Th₄ tiristörleri yükten akım geçmesini sağlar. Sistemde zincirleme bir sıra izleyen çalışmanın ana kontrol noktası S anahtarı olmakta ve S anahtarının kapatılması ile aynı anda gerilim ayarlanan açıda yükte uygulanmaktadır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

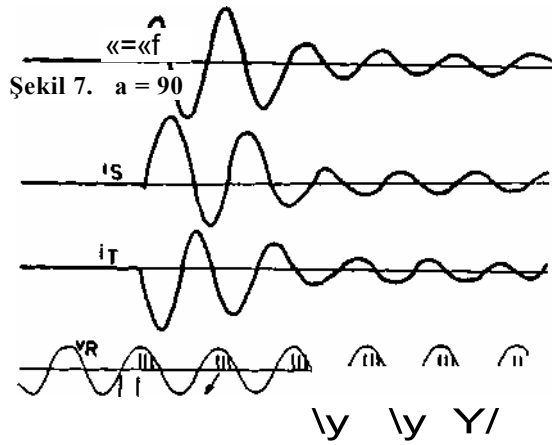
Yazının bu bölümünde, tanıtımı yapılan anahtarın geçici rejimlerle ilgili çeşitli denemelerde kullanılmasının sonuçları verilmektedir. Deney sonucu elde edilen geçici rejim eğrilerinin orijinalleri Kaynak 1 de bulunmaktadır.

6.1. Motor başlangıç akımları

İndüksiyon motorları, başlangıçta normal çalışma akımlarının altı veya yedi katı kadar akım çekebilirler. Kısa bir an devam eden bu geçici rejim akımları gerilim eğrisi üzerindeki uygulama noktasına göre çeşitli değerler alır.



Şekil 6. Üç fazlı anahtar aracılığı ile motora güç uygulanması.



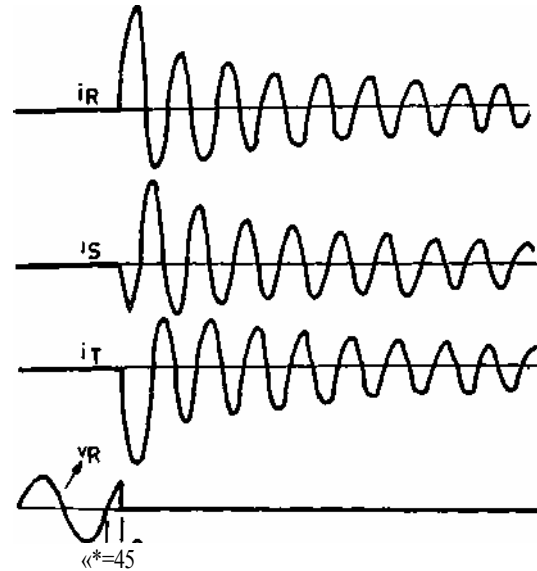
motor başlangıç akımları.

Şekil 6 da görülen devre düzeneği ile R fazı referans alınarak motora çeşitli açılarda güç uygulanmıştır. Yazımızda, yalnızca R fazı üzerinde gerilim $a = 90^\circ$ de uygulandığında elde edilen akım eğrileri gösterilmiştir (Şekil 7). Referans gerilimi V_R , darbeler ve uygulama açısı ile her üç fazdan geçen akımlar aynı anda kaydedilmiştir. Deneyde 1,36 HP 380 V motor kullanılmıştır. Geçici rejim akım eğrileri in-

celendiğinde ilk darbenin uygulanmasına kadar motorun çalışmadığı ve ilk darbenin istenen a açısında uygulanması ile aynı anda her üç fazdan akım geçerek motorun çalışmaya başladığı görülmektedir.

6.2. Alternatör kısa devre akımları

Normal çalışma sırasında kısa devre, yükün aniden değişmesi veya anahtarlama nedenleri ile alternatörde fasa süre geçici rejim akımları meydana gelir. Bu deneyde alternatör çıkış terminallerine üç fazlı anahtar aracılığı ile çeşitli açılarda simetrik kısa devre uygulanarak her üç fazın geçici rejim akından kayde-



Şekil 8. $a = 45^\circ$ için alternatör kısa devre akımları,

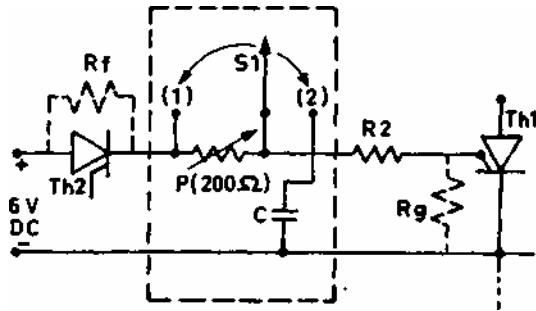
dilmiştir. R fazı referans alınarak $a = 45^\circ$ de kısa devre uygulandığında elde edilen kısa devre akımları Şekil 8 de gösterilmiştir.

7. BİR FAZDA ZAMAN GECİKMESİ

Anahtarlama işlemini her üç faza ayrı ayrı uygulayan üç fazlı, faz kontrollü tiristör anahtar, fazlar arasında zaman gecikmeli gerilim veya kısa devre uygulaması gerektiren geçici rejim deneylerinde kullanılamamaktadır. Fazlara gecikmeli gerilim veya kısa devre uygulamasının geçici rejim üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemek için yeterli değere ulaşması RC zaman sabitesine bağlıdır. 500 μ F kapasitans ve 200 Ω değişken direnç kullanılan bu devre düzeninde bir faza yaklaşık olarak 95 milisaniye bir gecikme sağlama olanağı vardır. Şekil 10 da, 1,36 HP gücündeki bir indüksiyon motorunun fazlarına gecikmeli olarak gerilim uygulandığında, her üç fazdan geçen akımların durumları görülmektedir, ilk darbenin uygulanması ile S ve T fazlarından akım geçmeye başlamakta, R fazından ise 95 milisaniye bir gecikmeden sonra akım geçmektedir. Bu zaman gecikmesi her an ayarlanabilmektedir.

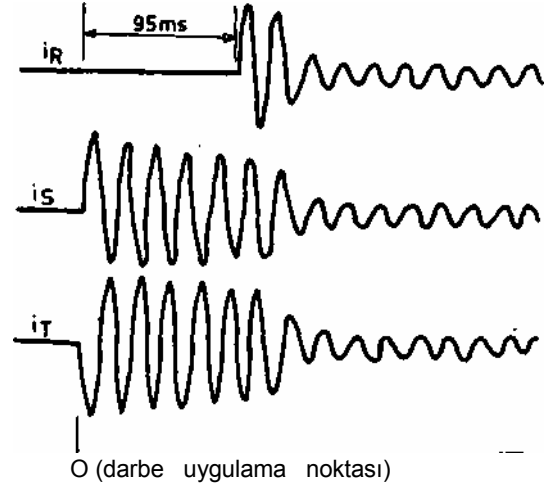
$$\hat{i} = (1 - e^{-t/RC})$$

eşitliği ile verilen akıma eşittir. Bu eşitlikte $V = 6$ V, $R = R_z + R_f + R_j + R_s$, ve RC zaman sabitesi olup, akımın tiristörü ateşlemek için yeterli değere ulaşması RC zaman sabitesine bağlıdır. 500 μ F kapasitans ve 200 Ω değişken direnç kullanılan bu devre düzeninde bir faza yaklaşık olarak 95 milisaniye bir gecikme sağlama olanağı vardır. Şekil 10 da, 1,36 HP gücündeki bir indüksiyon motorunun fazlarına gecikmeli olarak gerilim uygulandığında, her üç fazdan geçen akımların durumları görülmektedir, ilk darbenin uygulanması ile S ve T fazlarından akım geçmeye başlamakta, R fazından ise 95 milisaniye bir gecikmeden sonra akım geçmektedir. Bu zaman gecikmesi her an ayarlanabilmektedir.



Şekil 9. Bir faza zaman gecikmesi sağlayan devre düzeni.

S_j anahtarı, RC geciktirme devresini üç fazlı anahtar devresine bağlamak veya bağlantıyı kesmek amacıyla kullanılmıştır. Fazlar arasında zaman gecikmesi istenen deneylerde S_j (1) durumuna alınmakta, aksi halde (2) durumuna alınarak ana devre ile bağlantısı kesilmektedir.



Şekil 10. Motorun bir fazına zaman gecikmesinin uygulanması.

8. SONUÇ

Bu yazıda tanıtilen üç fazlı, faz açısı kontrolü tiristör anahtar, geçici rejim konularının deneysel incelenmesi olanağını sağlayabilecek özelliktedir. Bu model esas alınarak büyük güçteki elektrik sistemlerinde kullanılabilecek bir anahtarlama cihazı geliştirilebilir. Bu şekilde geliştirilebilecek bir cihaz transformatöre gerilim veya kısa devre uygulaması, bir alternatörün faz-toprak kısa devre analizi, enerji nakil hatlarında geçici rejim akımları, bir yükün elektrik sistemine gerilim eğrisi üzerinde istenen açıda bağlanması gibi konularda deneysel çalışma olanaklarını sağlayacaktır. Tiristörler ana devre elemanları olarak seçilmiştir. Aynı amaçla diğer yan geçiren elemanların (Triac gibi) kullanılması ile cihazı daha basite indirgeme olanakları araştırılabilir. Fazlar arasında zaman gecikme uygulanması yalnız bir faz için yapılmıştır. Başka bir düzencele her üç faz arasında istenen zaman gecikmesini sağlayabilecek bir sistem geliştirilmesi deneysel incelemeler için yararlı olacaktır.

Yapılacak bu araştırmalar, bugüne kadar yalnız teorik yönden açıklanmasına çalışılan ve tanıtımı yapılan üç fazlı anahtarın tasarımı ile bir ölçüde deneysel incelemesi yapılan başlangıç ve kısa devre geçici rejim akımlarının elektrik sistemlerindeki durumunu deneysel olarak açığa çıkaracak ve teorik sonuçlar ile karşılaştırma olanağını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Akçakmak, İ. : «Three Phase, Phase Angle Controlled Semiconductor Switch for Transient Studies of Electrical Machines». MS Thesis, ODTÜ, 1971.
2. Smith, I. R.; Sriharah, S. : «Heavy Duty Switching Angle Selector». Proc. IEE Jan, 1967. Vol. 114.