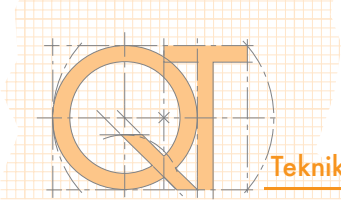


Teknik Uygulama Föyü No.2

OG/AG trafo merkezleri: kısa devre hesaplama teorisi ve örnekleri



OG/AG trafo merkezleri: kısa devre hesaplama teorisi ve örnekleri

İçindekiler

1 OG/AG trafo merkezleri hakkında genel bilgiler

1.1	Klasik tipolojiler	2
1.2	OG/AG transformatörleri ile ilgili genel hususlar	5
1.3	OG koruma cihazları: dağıtım şirketleri tarafından uygulanan limitler hakkında gözlemler	8
1.4	AG koruma cihazları	8

2 Kısa devre akımlarının hesaplanması

2.1	Hesaplama için gerekli veriler	11
2.2	Kısa devre akımının hesaplanması.....	12
2.3	Motor katkısının hesaplanması	15
2.4	Tepe akım değerinin hesaplanması.....	15

3 Koruma ve kontrol cihazlarının seçimi

3.1	Koruma ve kontrol cihazlarının başlıca elektrik parametreleri hakkında genel bilgiler	17
3.2	Devre kesici seçimi ile ilgili kriterler	19
3.3	Devre kesiciler ve yük ayırıcılar arasındaki koordinasyon.....	21
3.4	Otomatik devre kesiciler-kaçak akım cihazları (RCD'ler) arasındaki koordinasyon	22
3.5	Örnek bir OG/AG şebekesinin incelenmesi.....	23

Ek A:	Transformatör ani akımının hesaplanması	30
Ek B:	Kısa devre akımının hesaplanmasına örnek.....	32
	B1 Simetrik bileşenler yöntemi	33
	B2 Güç yöntemi.....	38
Sözlük	40

1 OG/AG trafo merkezleri hakkında genel bilgiler

1.1 Klasik tipolojiler

Bir elektrik trafo merkezi, orta gerilim dağıtım şebekesi (örneğin 15kV veya 20kV) tarafından sağlanan gerilimi, alçak gerilimli hatları (400V - 690V) beslemek için uygun gerilim değerlerine dönüştürmeye adanmış bütün bir cihaz grubundan oluşur (iletkenler, ölçme ve kontrol cihazları ve elektrikli makineler).

Elektrik trafo merkezleri, kamusal trafo merkezleri ve özel trafo merkezleri olarak ikiye ayrılabilir:

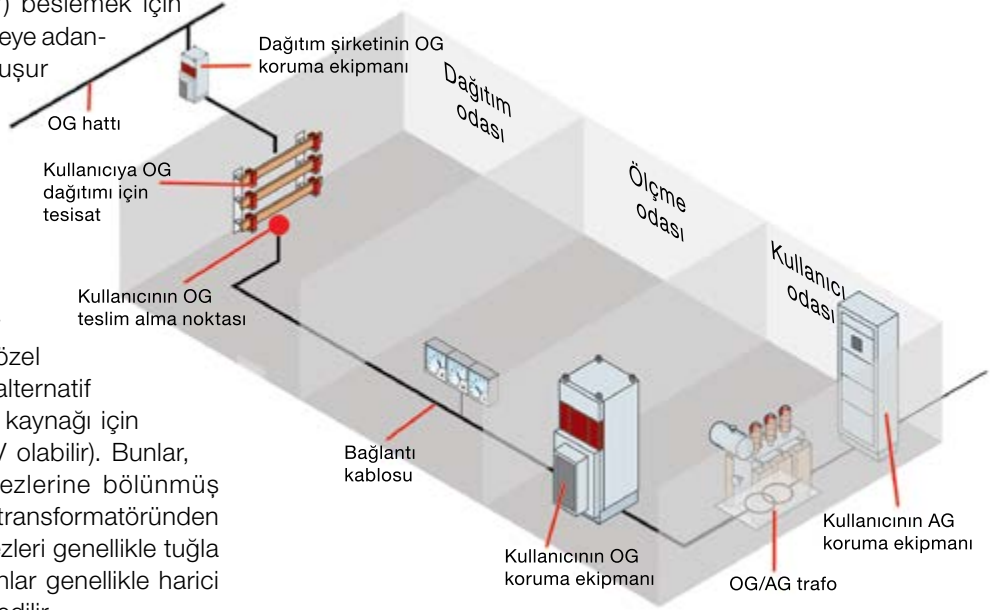
kamusal trafo merkezleri: bunlar elektrik dağıtım şirketine aittir ve özel kullanıcılara tek fazlı veya üç fazlı alternatif akım tedarik etmektedir (iki tip güç kaynağı için tipik gerilim değerleri 230V ve 400V olabilir). Bunlar, kentsel veya kırsal tip trafo merkezlerine bölünmüş olup, tek bir azaltılmış boyutlu güç transformatöründen oluşmaktadırlar. Kentsel trafo merkezleri genellikle tuğla kullanılarak inşa edilirken, kırsal olanlar genellikle harici olarak doğrudan OG hattına monte edilir.

özel trafo merkezleri: bunlar genellikle terminal tipi trafo merkezleri olarak bilinirler; OG hattının trafo merkezinin kurulum noktasında sona erdiği trafo merkezleridir. Kullanıcıya aittir ve sivil kullanıcıları (okullar, hastaneler, vb.) güçle, endüstriyel kullanıcıları kamusal OG şebekesinden besleyebilirler. Bu trafo merkezleri çoğunlukla besledikleri fabrikayla aynı odada bulunur ve temel olarak üç farklı odadan oluşurlar:

- **dağıtım odası:** dağıtım şirketinin anahtarlama cihazının kurulduğu yer. Bu oda, dağıtım şirketinin sonraki zamanlarda dahi yeni gereksinimleri karşılamak için hayata geçirme hakkına sahip olduğu herhangi bir besleme/çıkış sisteminin inşasına izin verecek bir boyutta olmalıdır. Teslim alma noktası, kamu şebekesi ve kullanıcı tesisi arasındaki sınırı ve bağlantıyı temsil eden dağıtım odasında bulunur.
- **ölçme odası:** ölçüm birimlerinin olduğu yerdir. Her iki oda da, kullanıcının mevcut olup olmamasına bakılmaksızın yetkili personelin müdahalesine izin vermek için kamusal karayolu erişimine sahip olmalıdır.
- **kullanıcı odası:** kullanıcıyı ilgilendiren transformatörü, OG ve AG anahtarlama cihazını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bu oda normalde diğer iki odayla bitişik olmalıdır.

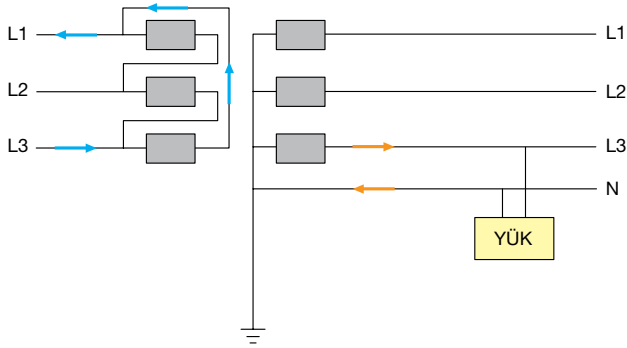
Şekil 1, daha önce anlatıldığı şekilde odaların bölündüğü bir trafo merkezinin tipik yapısını göstermektedir.

Şekil 1: Trafo merkezinin konsept şeması



Müşterinin OG/AG transformatörlerini normal olarak aşağıdakilerle kullanması beklenir:

- **üçgen primer sargı (Δ);** çünkü, bu bağlantı türü sayesinde, mıknatıslanma akımlarının üçüncü harmonikleri (manyetik devrenin doğrusal olmaması nedeniyle bozulmuştur) ve olası herhangi bir homopolar akım şebekeye akmadan üçgenin kenarları boyunca serbestçe dolaşabilir; böylece, manyetik akılar sinüzoidal kalır ve dolayısıyla da fem, sekonderde indüklenir. Bunun yanında, sekonder sargıda dengesiz yükler olması durumunda, primer tarafından emilen reaksiyon akımı, diğer ikisini etkilemeden, sadece karşılık gelen sargı boyunca (şekilde gösterildiği gibi) akar; bu gerçekleşirse, yıldız bağlantısında olduğu gibi bu sargılardaki akımlar mıknatıslanma akımları olur ve faz gerilimlerinde bir asimetriye neden olur. Sadece özel uygulamalar sağlandığında (kaynak makineleri, aktüatörler vb.), bağlantı delta tipinde olmayabilir ve yapılacak seçim, dağıtım şirketi ile kararlaştırılacaktır.
- **topraklanmış yıldız noktasına sahip sekonder sargı (Y_{tr});** hat ve faz gerilimlerini kolayca elde edebilmek, ama her şeyden önce güvenlik için, OG ve AG tarafları arasında bir arıza olması durumunda, sekonderdeki gerilim faz değerine yakın kalacağından insanlar için daha yüksek güvenlik sağlar ve yalıtımı korur.



Dağıtım şirketi, resmi belgelerinde normal müşterilerin (diğer güç üreticisi olmayanlar veya harmonikler veya kırpışma olayı ile karakterize edilen rahatsız edici yüklerle sahip özel kullanıcılar için amaçlanan) bağlantı kurması için kriterleri ve yöntemleri tarif eder ve tanımlar.

Bu tarif özellikle 15kV ve 20kV'lik nominal gerilimli OG şebekesine bağlantılar için geçerlidir; diğer OG gerilim değerlerinde, benzerlik kurularak uygulanabilir.

Aşağıda bir örnek olarak, kullanılabilen transformatör gücüne ilişkin bir İtalyan dağıtım şebekesinin talimatları verilmiştir. İzin verilen güç değerleri aşağıdaki gibidir:

- 15kV şebekeler için 1600kVA'dan yüksek olmayan güç
 - 20kV şebekeler için 2000kVA'dan yüksek olmayan güç
- Gösterilen güçler, $\%v_k = \%6$ olan bir transformatöre karşılık gelir.

Kurulabilir güç ile ilgili sınır da belirlenmiştir ve müşteriler, kendi tesislerinin hizmete sokulması sırasında OG hattının aşırı akım korumasında istenmeyen açmalara yol açmamak için, her biri önceden belirtilen sınırlara teka-bül eden boyutlara sahip ve ayrılmış AG baralara sahip transformatörlerin üç tanesinden fazlasını kuramaz; aksi

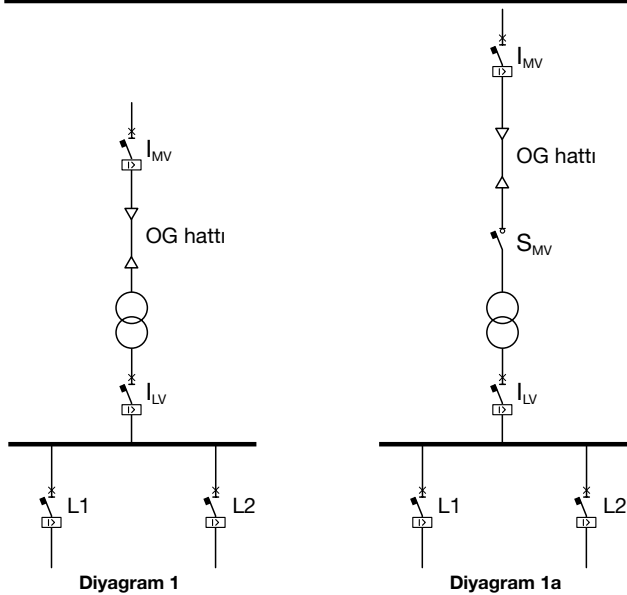
takdirde, yukarıda belirtilen sınırların aşılmasını belirleyecek olan bu transformatörlere eşzamanlı enerji verilmesini önlemek için tesislere uygun cihazlar sağlamak zorunda kalacaklardır. Dahası, kullanıcılar, belirtilen sınırları aşan toplam güç için transformatörleri paralel halde kuramazlar (gerilim baraları bağlı); böylece, AG ana devre kesicisinin besleme tarafında bir AG kısa devresi olması durumunda, sadece transformatörü korumak için kurulmuş olan, kullanıcının OG devre kesicisi açma yapar; dağıtım şirketinin hat koruma cihazı açma yapmaz. Müşterinin tesisi, yukarıda belirtilen sınırlamalarla uyumlu olmadığında, özel bir hat aracılığıyla güç tedarik edilmesi ve aşırı akım koruma cihazının ayarlarının kişiselleştirilmesi gibi diğer çözümleri dikkate almak gerekecektir.

Transformatör, teslimat odasındaki alım noktasına, verilen güç dikkate alınmaksızın minimum 95 mm² kesitli bir bakır bağlantı kablosu vasıtasıyla bağlanır. Kablo, kullanıcıya aittir ve olabildiğince kısa olmalıdır.

Sistemin topraklama bağlantısının yönetimi ile ilgili mevcut eğilim, empedans vasıtasıyla yalıtılmış nötrden topraklanmış nötre geçişi sağlamaktır. Yeraltı veya havai kabloların gittikçe yaygınlaşan kullanımının etkisiyle sürekli artan tek fazlı toprak arıza akımlarını azaltmak için gerekli olan bu değişiklik, hem dağıtım şirketleri hem de müşteriler tarafından toprak arızalarına karşı korumanın yükseltilmesi anlamına da gelmektedir. Amaç, istenmeyen açmaları mümkün olduğunca sınırlandırmak ve böylece hizmeti geliştirmektir.

Bir OG/AG trafo merkezi için ana elektrik düzenlemelerinin ne olduğunu belirttikten sonra şimdi, tek bir orta gerilim hattı tarafından beslenen bir trafo merkezi için güç kaynağı transformatörlerinin yerleşimine göre en yaygın yönetim yöntemlerinin neler olduğunu analiz edebiliriz.

Yöntem 1

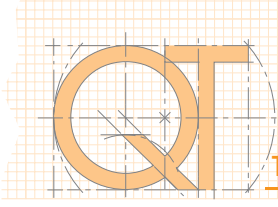


Tek transformatörlü trafo merkezi

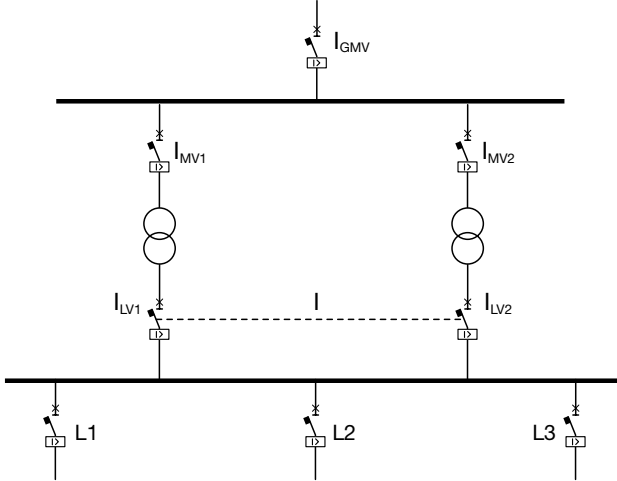
Tesis, trafo merkezini besleyen hattın başladığı bir " I_{MV} " aşırı akım koruma cihazının kurulmasını öngörürse, Diyagram 1'de gösterildiği gibi, bu cihaz hem OG hattının hem de transformatörün korunmasını sağlamalıdır.

Koruma cihazının aynı zamanda anahtarlama ve izolasyon işlevlerini yerine getirdiği durumda, yalnızca trafo merkezinin güç kaynağı hattı izole edildiğinde transformatöre erişime izin veren bir kilitleme sistemi sağlanmalıdır.

Diyagram 1a'da bir başka yönetim yöntemi gösterilmiştir. Transformatörün besleme tarafına yerleştirilen " S_{MV} " anahtarlama ve izolasyon cihazının montajını öngörür. Cihaz, hattın başında kurulu kalan koruma cihazından ayrılmıştır.



Yöntem 2



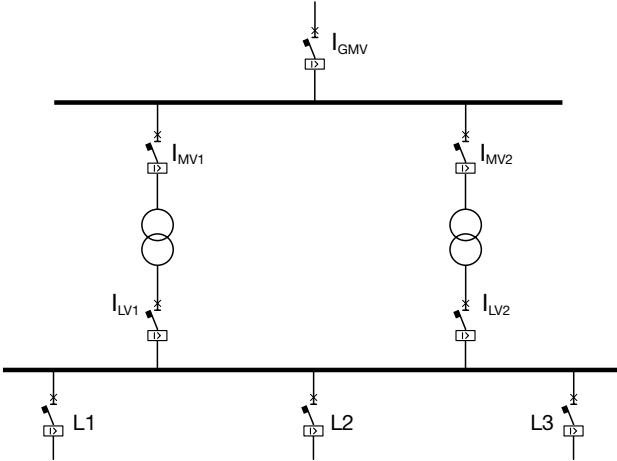
Diyagram 2

İki transformatörden birinin diğerinin yedeği olarak kullanıldığı trafo merkezi

Tesis, yedek olarak kabul edilen bir transformatörün kurulumunu öngördüğünde, AG tarafındaki devre kesicilerin, transformatörlerin paralel çalışmasını önleyen bir "I" kilit ile bağlanması gerekir.

Gelen OG hattındaki (I_{GMV}) anahtarlama ve izolasyon cihazının yanı sıra, iki transformatörün (I_{MV1} ve I_{MV2}) bağımsız OG beslemelerinde de bir anahtarlama, izolasyon ve koruma cihazı sağlamanız önerilir. Bu yolla, bir transformatörün besleme ve yük tarafında cihazın açılmasıyla, tüm trafo merkezini hizmet dışı bırakmadan izolasyonu sağlamak ve trafoya erişmek mümkündür.

Yöntem 3



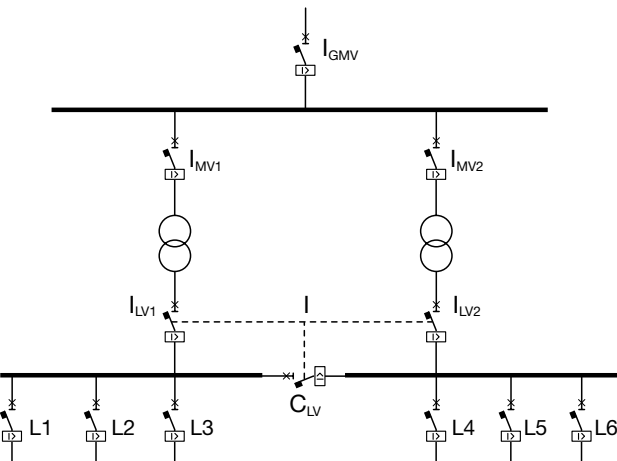
Diyagram 3

Aynı barada paralel çalışan iki transformatörlü trafo merkezi

Tesis, gerektirdiği toplam güçte paralel çalışan iki transformatör kurulmasını öngörürse, daha düşük nominal güce sahip iki transformatör kullanmak mümkündür. Daha önceki iki durumda açıklanan yönetim yöntemiyle karşılaştırıldığında, düşük güçteki trafolar için olası $v_{kıs}$ 'lerin azaltılması nedeniyle, alçak gerilim sistemindeki arızalar için daha yüksek kısa devre akımları oluşabilir.

Transformatörlerin paralel çalışması şebekenin yönetiminde daha büyük sorunlara neden olabilir. Bu durumda yine de bir trafonun devre dışı kalması, yük yönetiminde belirli bir esneklik gerektirebilir ve bu da öncelikli yükler olarak kabul edilenlere güç beslenmesini sağlar. Korumaları koordine ederken, AG tarafındaki aşırı akımın iki transformatör arasında bölünmüş olması gerçeği göz önüne alınmalıdır.

Yöntem 4



Diyagram 4

İki ayrı yarım-barada aynı anda çalışan iki transformatörü bulunan trafo merkezi

Önceki yönetim yönteminden başlayarak, transformatörden gelen her iki devre kesici de kapatıldığında, bara bağlantısının kapanmasını önleyen bir "C_{LV}" bara bağlantısı ve bir "I" kilidi sağlanarak, diyagram 4'te gösterildiği gibi yönetilen bir trafo merkezi yapılır. Birbirinden ayrı olan alçak gerilim baralarını ayrı ayrı besleyen iki transformatör öngörülür. Kurulu trafoların aynı güçte olduğu, bu yönetim yöntemi, baradaki kısa devre akımının daha düşük bir değere sahip olmasını sağlar. Başka bir deyişle, her transformatör, diğer trafoların katkısını göz önünde bulundurmaksızın, kendi yeterliliğine göre bara için kısa devre seviyesini belirler. Yine bu durumda, transformatör hizmet dışı olduğunda, kuplaj bağlantısının kapanmasıyla beraber sadece sağlıklı olan transformatör tarafından beslenen tek baralı bir sisteme geçersiniz ve öncelikli yüklerin kesilmesi ile bir yük yönetimi mantığının sağlanması gerekir.

Diyagram 4'e göre tesis yönetimi, üç devre kesici arasında telli kilitleme (mekanik kilitleme) olan açık tip Emax devre kesici serisini kullanarak mümkündür.

1.2 OG/AG transformatörleri ile ilgili genel hususlar

Transformatör, trafo merkezinin en önemli parçasıdır. Transformatörün seçimi, trafo merkezinin konfigürasyonunu etkiler ve çeşitli faktörlere dayanarak yapılır.

Bu makaleye özel konu olmamakla beraber, bazı genel bilgiler vermek adına düşük güç talepleri (gösterge niteliğinde 630 kVA - 800 kVA'ya kadar) için tek bir transformatör kurulabilirken, daha yüksek güçler (gösterge niteliğinde 1000kVA - 1600kVA'ya kadar) için gücün birden fazla ünite üzerinden paralel olarak bölünebileceği söylenebilir.

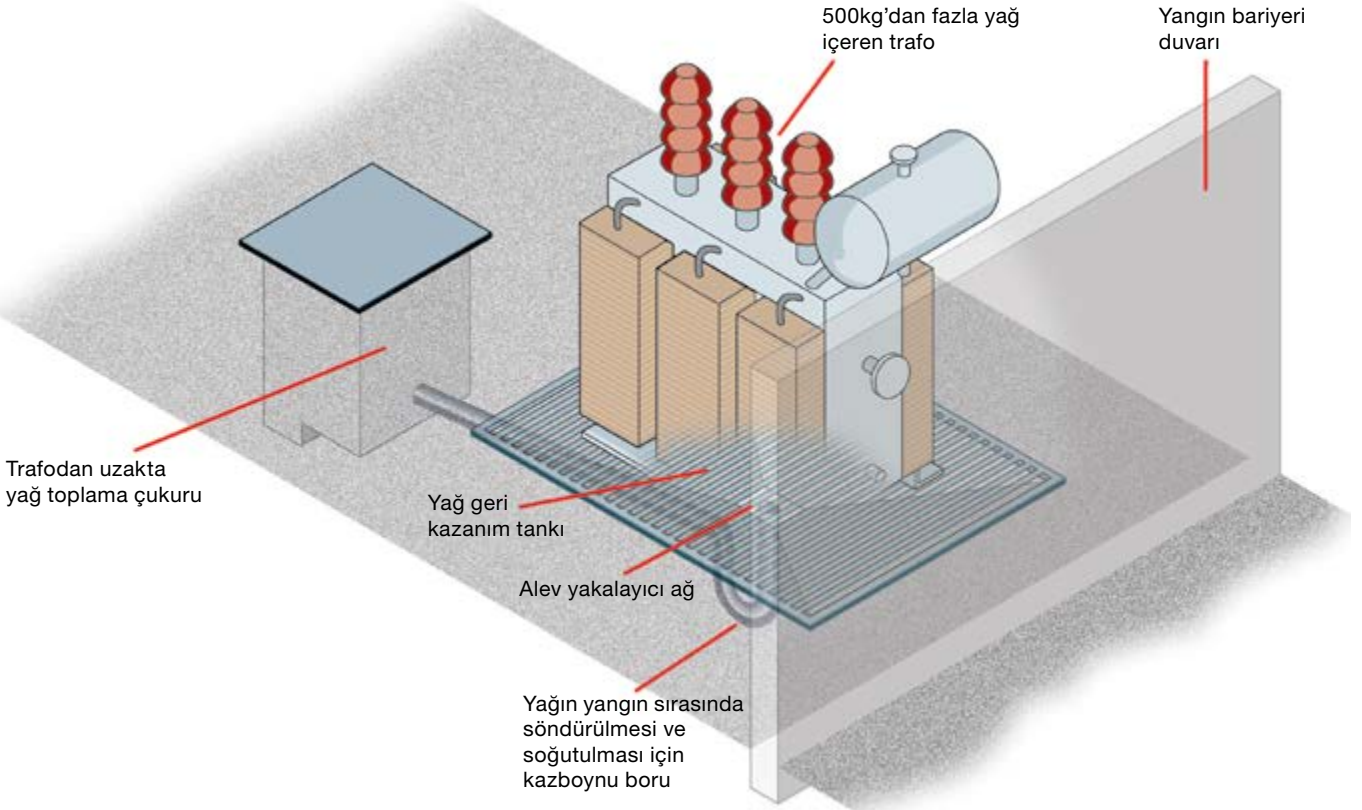
Trafo seçilirken göz önüne alınması gereken diğer bir özellik, havalı ya da yağlı olabilen soğutma sisteminin türüdür. Trafo merkezinin havalandırma yapısıyla ilgili olarak, yağ

soğutmalı transformatörlerde, yağın dışarıya yayılmasını önleyen, Şekil 2'de gösterildiği gibi toplama çukuru oluşturularak, önlem alınmalıdır. Ayrıca, trafo merkezinin en az 60 dakikalık yangın direncine (REI 60) sahip olması ve havalandırmanın sadece dışa doğru olması gereklidir. Soğutma türüne göre, transformatörler aşağıdaki gibi tanımlanır:

- AN** doğal hava dolaşımı ile soğutma;
- AF** cebri hava dolaşımı ile soğutma;
- ONAN** doğal yağ ve hava dolaşımı ile soğutma;
- ONAF** cebri yağ ve doğal hava dolaşımı ile soğutma;
- OFAF** cebri yağ ve cebri hava dolaşımı ile soğutma;

En sık tercih edilenler AN ve ONAN tipleridir, çünkü trafo merkezlerini kontrol etmek neredeyse hiç mümkün olmadığından, fan veya yağ dolaşım cihazları kullanan trafoların kullanılması önerilmemektedir.

Şekil 2: 500 kg'dan fazla yağ içeren (> 800 kVA) ONAN transformatörler



Nominal güç, yüksüz sekonder gerilim, dönüşüm oranı, yüzde cinsinden nominal kısa devre gerilimi ($v_{k\%}$) gibi genel büyüklüklere ek olarak dikkate alınması gereken diğer önemli özellikler elektrik parametreleri ile ilgili olanlardır ve transformatörler paralel çalıştıklarında büyük önem kazanırlar:

- Sargıların bağlantı tipolojisi (trafo merkezindeki transformatörler için topraklanmış üçgen / yıldız bağlantı en çok kullanılandır)
- bağlantı sistemi (*CEI grubu*), geleneksel olarak 30'un katı bir sayı ile ifade edilip OG tarafı ile karşılaştırıldığında AG tarafındaki faz geriliminin gecikme açısını verir.

İki veya daha fazla OG/AG transformatörünün varlığı ve de AG baralarındaki olası bir kapalı kupa bağlantısı, elektrik şebekesinin transformatörler ile paralel olarak yönetilmesini sağlar.

Arızaların varlığında, bu yönetim metodu, AG tarafında kısa devre akım değerinde bir artışa neden olur ve bunun sonucunda baradan gelen devre kesicilerin büyüklüğü artar ve tek bir transformatör ile yapılan işleme kıyasla baralar için daha ağır bağlama koşulları oluşur. Bunun nedeni, transformatörleri daha az güç ile karakterize eden daha küçük bir $v_{k\%}$ değerinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, uygun bir şekilde yönetildiğinde, paralel yöntem, transformatörlerden birinin devre dışı kalması durumunda

bile, en azından birincil kullanıcılar olarak düşünülen kullanıcılara, olası kupa bağlantısı üzerinden güç beslemesi sağlama avantajına sahiptir.

Aşağıdaki örnek, paralel transformatörler durumunda baradaki kısa devre akım değerinin artışını göstermektedir:

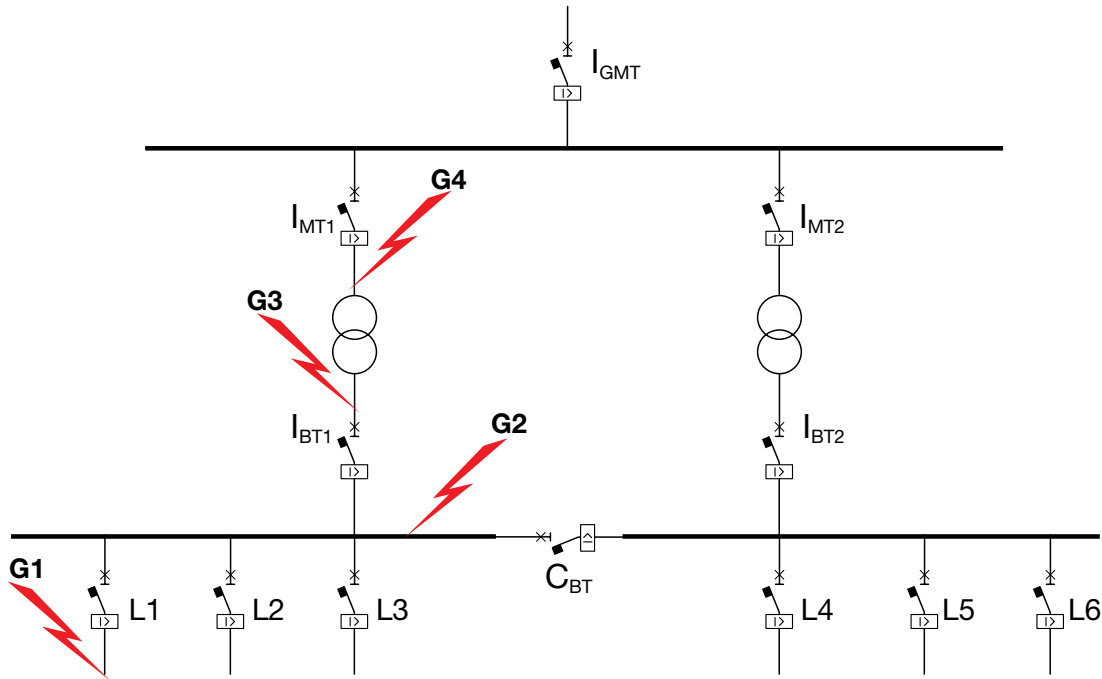
Besleme şebekesi, kısa devre gücü	$S_{knet}=750MVA$
Tesis sekonder gerilimi.....	$V_{2n}=400V$
Tekli transformatörün gücü	$S_{nTR}=1600kVA$
Tekli transformatörün nominal kısa devre gerilimi	$v_{k\%}=6\%$
Paralel olarak kullanılacak transformatörün gücü	$S_{nTR}=800kVA$
Paralel durumdaki transformatörün kısa devre gerilimi	$v_{k\%}=4\%$

Bu verilerden ve hızlı hesaplamalardan, tekli 1600kVA transformatöre sahip barada 37 kA'lık kısa devre akım değeri elde edilir.

Paralel iki 800kVA'lık transformatör ile, bara üzerindeki kısa devre akımı yaklaşık 55kA olacaktır.

Şekil 3'te özetlenen elektrik şebekesine atfen, aşağıdaki hususlar korumalar için yönetim felsefesini tasvir etme amacına sahiptir:

Şekil 3



AG kullanıcılarından birinde G1 Arızası**Kuplaj bağlantısının olup olmaması fark etmez:**

koruma cihazlarının uygun bir şekilde seçilmesi ve normal AG seçicilik gereksinimlerine göre, arızanın ayrılması ve L1 devre kesicisinin açılmasıyla hizmet devamlılığının sağlanması mümkündür.

AG barasında G2 Arızası**Kuplaj bağlantısız:**

arıza, transformatörlerin iki genel AG tarafı devre kesicileri (I_{LV1} ve I_{LV2}) tarafından giderilir ve böylece tesisin tamamen kesilmesi sağlanır. Transformatörler, yüksüz olarak beslenir. I_{MV} devre kesicilerin açılmasını önlemek için, bu durumda OG/AG seçiciliğinin sağlanması yine önemlidir.

Kuplaj bağlantısı ile:

C_{LV} kuplaj bağlantısının açılması ve bunun sonucu olarak baraların ayrılması ve ana I_{LV1} devre kesicisinin açılmasıyla arızanın tamamen ortadan kaldırılması gerekir. Kuplaj bağlantısının harekete geçirilmesi, arızadan etkilenmeyen yarı baraya giden beslemenin korunmasını sağlar. Arızadan etkilenen AG cihazlarının ($I_{LV1} - C_{LV} - I_{LV2}$) harekete geçmesi, *yönlü bölge seçiciliğinin uygulandığı* cihazlar kullanılarak koordine edilebilir. Örneğin: Emax serisi için PR123 ve Emax X1 devre kesici için PR333 koruma üniteleri kullanarak.

Transformatörün AG bara beslemesindeki G3 Arızası**Kuplaj bağlantısız:**

Arıza akımı iki transformatörü etkiler ve transformatörlerin iki I_{MV} ve I_{LV} cihazının açılmasına neden olabilir. Bunun sonucunda, tüm tesisin bağlantısı kesilir. Bu durumda, sadece arızadan etkilenen transformatörü izole etmek için I_{LV1} ve I_{MV1} 'in açılmasına izin veren özel bir yönetim mantığının (örneğin yönlü seçicilik) çalışması ve uygulanması önem kazanmaktadır. Tesis, yalnızca bir transformatör ile çalıştığı için, öncelikli olmayan yüklerin ayrılması için bir mantık öngörülmelidir.

Kuplaj bağlantısı ile:

yönetim mantığı aynı kalır ve muhtemelen kuplaj bağlantısının açılmasını da öngörebilir.

Transformatörün OG bara beslemesindeki G4 Arızası**Kuplaj bağlantısız:**

Yönetim mantığı tam arıza akımından etkilenen I_{MV1} devre kesicisinin derhal açılmasına izin vermelidir (I_{MV2} : iki transformatörün empedansı ile sınırlandırılmış daha düşük bir akım görür); eğer tesis yönetimi çekmeyi öngörürse, arıza noktasının izole edilmesiyle I_{LV1} devre kesicinin açılmasını, diğer transformatör aracılığıyla güç kaynağı tarafından beslenen bütün tesisin servis sürekliliği takip edecektir.

Tesis, yalnızca bir transformatör ile çalıştığı için, öncelikli olmayan yüklerin ayrılması için bir mantık öngörülmelidir.

Kuplaj bağlantısı ile:

Yönetim mantığı aynı kalır ve kuplaj bağlantısının, sadece harici tutulan transformatörün yetkisini ortadan kaldırarak baraları ayırma işlevi vardır.

Bazı koşullar altında, paralel transformatörlerin çift beslenmesi nedeniyle oldukça karmaşık hale gelen arıza giderme yöntemlerinin analizi yapıldıktan sonra, iki transformatörün paralel çalışması için asgari gereklilikler incelenmektedir:

a) dâhili bağlantılar aynı gruba ait olmalı (*CEI grubu*) ve transformatörlerin dönüşüm oranı aynı olmalıdır. Bu talimatlara uyulmasıyla, iki gerilim grubu çakışır ve faz zıtlaşmasına neden olur; sonuç olarak her bir bağlantının sekonder gerilimi arasında vektörel farklar olmaz ve dolaşım akımı üretilmez. Aksi durumda, dolaşım akımları oluşur ve bu da yüksüz çalışmada dahi transformatörlere zarar verebilir;

b) kısa devre gerilimleri ($v_{k\%}$) aynı değere sahip olmalıdır. Bu önlem sayesinde, toplam yük akımı, iki transformatör arasında kendi nominal güçleriyle orantılı olarak alt bölümlere ayrılır. Aksi takdirde, iki transformatör farklı yüklenir ve daha düşük dahili gerilim düşümüne sahip trafo daha fazla yüklenme eğilimi gösterebilir.

c) eş kısa devre güç faktörü ($\cos\varphi_{cc}$). Bu önlem sayesinde, toplam yük akımı fazdaki iki veya daha fazla akıma bölünür ve sonuç olarak minimum değere indirilir. $\cos\varphi_{cc}$ değeri, transformatörün gücüne göre değiştiğinden, diğerinin iki katından fazla ya da diğerinin yarısından daha düşük bir güce sahip bir transformatöre paralel olarak bağlanması tavsiye edilmez.

1.3 OG koruma cihazları: dağıtım şirketleri tarafından uygulanan limitler hakkında gözlemler

Kullanıcı trafo merkezini besleyen OG dağıtım hattı, aşırı akım ve toprak arızalarına karşı kendi korumalarına sahiptirler; bu nedenle, dağıtım şirketi, müşterinin tesisi için herhangi bir koruma cihazı sağlamayacaktır.

OG ve AG tesisinin dahili arızalarının, dağıtım şebekesi hizmetini etkilemesini önlemek için tüketici uygun korumaları sağlamalıdır. Koruma cihazlarının seçimi ve koordinasyonu, personelin ve makinelerin güvenliğini, aynı zamanda tesisatın servis güvenilirliğini sağlayarak garanti altına almalıdır.

Bu bölümde OG/AG tarafı koruma işlevlerinin sahip olması gereken özellikler ve etkileşime girme şekilleri ile ilgili bazı göstergeler verilmiştir.

Dağıtım şebekesi şirketinin koruması genellikle bağımsız süreli açma özellikleriyle çalışır ve tüketiciye iletilen açma eşiği değerleri, istenmeyen açmalardan kaçınmak için üst limiti temsil eder.

Aşağıda farklı koruma eşikleri için koruma cihazının ayar aralığına örnek verilmiştir:

- Aşırı akım eşiği (aşırı yük 51):
Eşik (30÷600)A, 15A kademeli (primer değerler)
Gecikme süresi (0.05÷5)s, 0.05s kademeli.
- Aşırı akım eşiği (kısa devre 50):
Eşik (30÷600)A, 15A kademeli (primer değerler)
Gecikme süresi (0.05÷5)s, 0.05s kademeli.
- Toprak arızalarına karşı koruma:
Kullanıcı tesisatının özelliklerine göre, toprak arıza koruması, homopolar akım ve gerilimleri tespit eden yönlü toprak arıza koruması 67N veya basit bir sıfır sıralı aşırı akım koruması 51N'den oluşabilir.

Örneğin, sıfır sıralı aşırı akım koruması ile ilgili olarak, ayar aralıkları şunlardır:
aşırı akım eşiği (0.5÷10)A, 0.5A kademeli (primer değerler)
gecikme süresi (0.05÷1)s, 0.05s kademeli.

1.4 AG koruma cihazları

AG koruması transformatörün yük tarafında bulunur. Bir AG cihazında genellikle bulunan koruma fonksiyonları aşırı yüke karşı, kısa devreye karşı ve toprak arızasına karşı koruma işlevleridir.

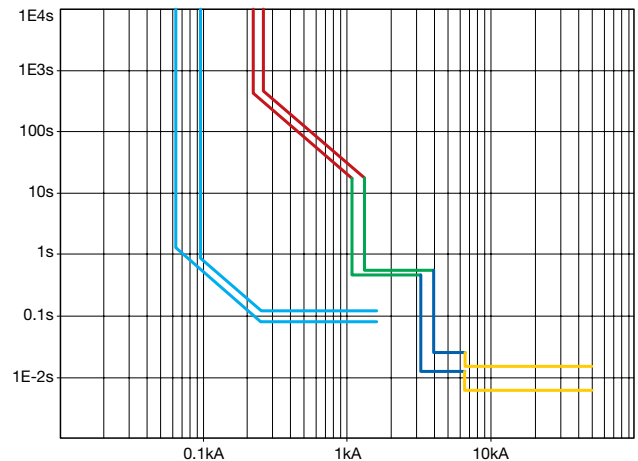
Mikroişlemci tabanlı elektronik koruma ünitelerinde bulunan bu koruma işlevlerinin kısa bir açıklaması aşağıdadır:

- **aşırı yüke karşı koruma**
"L" fonksiyonu olarak tanımlanır; ayarlanabilir akım ve süreyle ters uzun zaman gecikmeli açmaya sahip koruma sağlar. ABB elektronik koruma ünitelerinde, I1 fonksiyonu olarak belirtilir.
- **kısa devreye karşı koruma**
gecikmeli kısa devreye karşı "S" koruması olarak (ABB elektronik koruma ünitelerinde, I2 fonksiyonu olarak da belirtilir) ve ani kısa devreye karşı "I" koruması olarak tanımlanır (ABB elektronik koruma ünitelerinde I3 fonksiyonu olarak da belirtilir).
"S" fonksiyonu ayarlanabilir akım ve zaman ile ters veya belirli süre gecikmeye sahip olabilir. "I" fonksiyonu, belirli zaman gecikmeli açma ve sadece ayarlanabilir akımla koruma sağlar.
- toprak arızasına karşı koruma
"G" fonksiyonu olarak tanımlanır ve ayarlanabilir akım ve zaman ile, ters veya kesin gecikmeye sahip olabilir. Bu koruma, transformatörün yıldız noktasında harici toroid ile gerçekleştirilebilir.

Sarı renkli eğri, devre kesicinin ayarlanan I3 korumasından çok daha yüksek akım değerindeki davranışını göstermektedir.

Şekil 4'teki diyagram, yukarıda adı geçen tüm koruma fonksiyonlarının devreye girdiği bir AG devre kesicisindeki bir zaman/akım açma eğrisine bir örnek göstermektedir.

Şekil 4



Aşağıdaki örnek, ters-zaman-gecikme eğrisini karakterize eden, karakteristik I^2t sabiti olan L-S-G fonksiyonları için mevcut olan bilgilerle nasıl çalışılacağını açıklamaktadır. Tmax serisi kompakt tip devre kesicilerine takılan koruma ünitesinde bulunan "L" koruma fonksiyonuna atfen, (örneğin bir T2 ... 160 In100 ("In" devre kesiciye monte edilen koruma ünitesinin boyutunu gösterir), olası açma eğrileri A tipi ve B tipidir.

A tipi eğri, şu şekilde tanımlanan noktadan geçerek karakterize edilir:

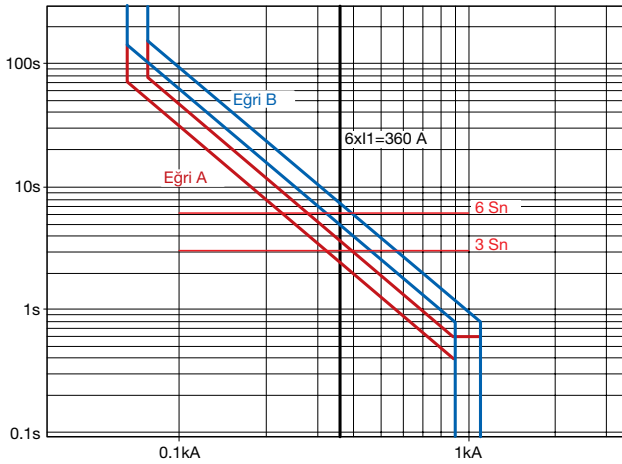
$$6 \times I_1, t_1=3s \text{ süresi ile}$$

B tipi eğri, şu şekilde tanımlanan noktadan geçerek karakterize edilir:

$$6 \times I_1, t_1=6s \text{ süresi ile}$$

I_1 için genel bir ayar $I_1 = 0.6 \times I_n = 0.6 \times 100 = 60A$ olduğu varsayılarak, yukarıdaki değer, $6 \times I_1 = 360A$ 'ya tekabül edecek şekilde, iki ayar eğrisinin, Şekil 5'teki zaman/akım şemasında gösterildiği gibi 3 veya 6 saniyelik açma süresi ile karakterize edileceği (toleranslar olmadan) anlamına gelir.

Şekil 5



Bunlar I^2t sabitine sahip eğriler olduğundan, aşağıdaki durum doğrulanır:

A eğrisi için:

$$(6 \times I_1)^2 \times 3 = \text{sabit} = I^2t$$

B eğrisi için:

$$(6 \times I_1)^2 \times 6 = \text{sabit} = I^2t$$

Örneğin, yukarıdaki koşullar altında, 180A'ya eşit bir aşırı yük akımı için korumanın açma zamanını belirlemek mümkündür.

Dolayısıyla yukarıdaki formüllerden aşağıdaki koşullar elde edilebilir:

$$(6 \times I_1)^2 \times 3 = 180^2 \times t_A$$

$$(6 \times I_1)^2 \times 6 = 180^2 \times t_B$$

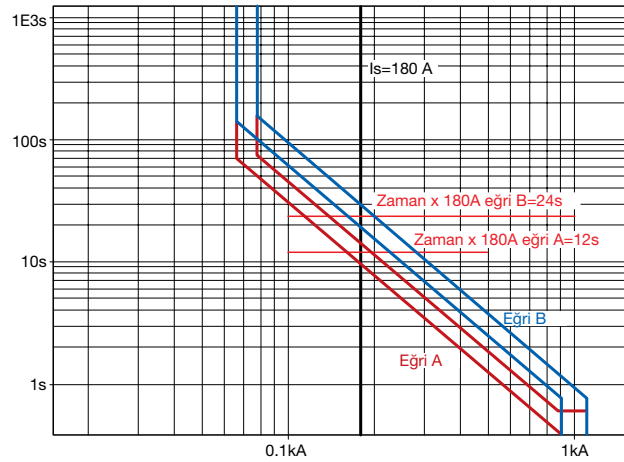
sırasıyla aşağıdakileri verir:

$$t_A = 12s$$

$$t_B = 24s$$

Şekil 6'daki zaman/akım şemasında gösterildiği gibi, matematiksel olarak elde edilen bu sonuçlar açma eğrileri boyunca yakınlık ile doğrulanabilir.

Şekil 6



Örneğin, kurulum gereksinimleri, 180A'lık aşırı yükün 15 saniyeden daha düşük bir sürede giderilmesini gerektiriyorsa, yapılan analizde koruma ünitesinde kullanılacak ve ayarlanacak açma karakteristiği A eğrisi olarak tanımlanacaktır (açma süresi $t_1 = 3s$, $6 \times I_1$ 'e eşit bir akım için). Yine aynı duruma atıfta bulunarak

$$(6 \times I_1)^2 \times t = \text{sabit}$$

15 saniyeden daha düşük bir zamanda 180 A'lık aşırı yükün ortadan kaldırılması için uygun olan eğriyi seçmek için denklemi tersi şekilde ayarlayarak ilerlemek mümkündür:

$$(6 \times 0.6 \times 100)^2 \times t = \text{sabit} = 180^2 \times 15$$

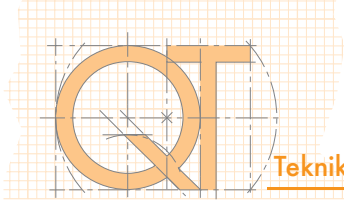
Bu ilişki, kurulum gereksinimlerine uymak için açma karakteristiğinin azami gecikmesinin hesaplanmasını sağlar. Zamanı açıkça belirterek aşağıdaki değer elde edilir:

$$t = 3.75s$$

Uygun eğri, "t1" değerinin "t" değerinden düşük olduğu eğri olacaktır. Dolayısıyla, yukarıdaki analizin sonucunda ortaya çıkan eğri A eğrisidir.

Korunmalar, her şeyden önce OG tipi olanlar, tipik olarak 50 - 51N - 67 gibi alfanümerik kodlarla tanımlanır ve tipik AG terimlerinde bir eşdeğerleri bulunmaz. Aşağıda, en yaygın kodların anlamını açıklamak ve OG korumalarını tanımlamak için kullanılan göstergeler ile AG olanlar için kullanılan göstergeler arasında mümkün olduğunca bir karşılık yaratmak için bazı bilgiler verilmiştir.

IEC 60617-7 standardı, hâlihazırda yürürlüktedir; elektrik tesisatlarında tipik olarak kullanılan korumaların sembol anlamlarını ve ilgili fonksiyonunu tanımlar. Elektrik alanında faaliyet gösteren birçok kişi için ANSI / IEEE C37.2 standardının kodlamasını kullanmak yaygın bir uygulamadır.



Aşağıda ana OG koruma fonksiyonlarının bazıları için IEC ve ANSI/IEEE sembollerinin birbirlerine gelen karşılıklarına dair bir örnek bulunmaktadır.

50 Ani aşırı akım koruması

Akım önceden belirlenmiş bir değeri aştığında kasıtlı zaman gecikmesi olmadan çalışan bir cihazdır. Bir AG koruma ünitesinin "I" koruması ile karşılaştırılabilir.

51 Zaman gecikmeli aşırı akım koruması

AC giriş akımı önceden belirlenmiş bir değeri aştığında çalışan ve giriş akımı ve çalışma süresinin birbiriyle ters ilişkili olduğu bir cihazdır. Bir AG koruma ünitesinin "S" koruması ile karşılaştırılabilir.

51N veya 51G Zaman gecikmeli toprak hatası aşırı akım koruması

Toprak hatası oluştuğunda belirli bir zaman gecikmesiyle çalışan cihazlardır. Detaylı olarak:

51N: CT ek yeri dönüşünde ölçülen kaçak akım Bir AG koruma ünitesinin "G" koruması ile karşılaştırılabilir.

51G: doğrudan bir CT'de veya sadece toroidal CT'de ölçülen kaçak akım. Bu cihaz, ayarlanabilir açma sürelerine sahip bir kaçak akım cihazının (ör. RD3, RCQ vb.) çalıştıran homopolar toroid veya harici bir toroid tarafından beslenen koruma ünitesinin "G" koruması ile sağlanan bir koruma ile karşılaştırılabilir.

50N veya 50G Ani toprak hatası aşırı akım koruması

Toprak hatası oluştuğunda belirli bir zaman gecikmesi olmadan çalışan cihazdır. Detaylı olarak:

50N: CT ortak dönüşünde ölçülen kaçak akım bir AG koruma ünitesinin kesin süreli bir "G" koruması ile karşılaştırılabilir.

50G: doğrudan sadece bir CT'de veya toroidal CT'de ölçülen kaçak akım. Örneğin bir homopolar toroid vasıtasıyla gerçekleştirilebilen bir koruma ile kıyaslanabilir.

67 Alternatif akım yönlü güç koruması veya yönlü aşırı akım koruması

Talep edilen güç değerinde, önceden belirlenmiş bir yönde akan veya önceden belirlenmiş bir yönde aşırı akımla akan güç için çalışan bir cihazdır. AG koruma ünitesinin "D" koruması ile karşılaştırılabilir.

49 Alternatif akım termik koruması

Trafonun veya AC cihazının sıcaklığı önceden belirlenmiş bir değeri aştığında çalışan bir cihazdır. OG uygulamalarında aşırı yüke karşı gerçek bir koruma sağlanmamasına rağmen, bir AG koruma ünitesinin "L" aşırı yük koruması ile karşılaştırılabilir.

Tablo 1

ANSI/IEEE Kodu	Fonksiyon tanımı	IEC 60617-7 standardına göre semboller
51	Zaman gecikmeli aşırı akım	$I > \overline{I}$
50	Ani aşırı akım	$I > I^{=0}$
51N	Zaman gecikmeli toprak arızası aşırı akımı	$I > \perp \overline{I}$
50N	Ani toprak hatası aşırı akımı	$I > \perp I^{=0}$
67	Yönlü faz aşırı akımı	$I > \leftarrow I^{=0} \overline{I}$
67N	Yönlü sıfır bileşen aşırı akımı	$I > \perp \leftarrow I^{=0} \overline{I}$

2 Kısa devre akımlarının hesaplanması

2.1 Hesaplama için gerekli veriler

Bir tesisatın ana bileşenlerini karakterize eden tipik parametrelere ilişkin bazı genel göstergeler aşağıda verilmektedir.

Aşağıdaki parametrelerin bilinmesi, kurulumun kapsamlı bir analizini yapmak için önemlidir.

Dağıtım şebekeleri:

Bir OG şebekesinde nominal gerilim, genellikle bilinen eşsiz bir parametredir.

Kısa devre akımlarını hesaplamak için, şebeke kısa devre gücünü bilmek gerekir; bu, 30kV'ye kadar olan sistemler için 250MVA'dan 500MVA'ya değişebilir.

Gerilim seviyesi yükseldiğinde, kısa devre gücü gösterge niteliğinde 700MVA ile 1500MVA arasında değişebilir.

OG dağıtım şebekesinin gerilim değerleri ve IEC 60076-5 standardı tarafından kabul edilen ilgili kısa devre güç değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Dağıtım şebekesi gerilimi uygulaması	Kısa devre görünür gücü Mevcut Avrupa uygulaması	Kısa devre görünür gücü Mevcut Kuzey Amerika
[kV]	[MVA]	[MVA]
7.2-12-17.5-24	500	500
36	1000	1500
52-72.5	3000	5000

Senkron jeneratör

Genellikle bir elektrikli makine için bilinen veriler, nominal gerilim (V_n) ve nominal görünür güçtür (S_n).

Senkron jeneratörler için, her elektrikli makinede olduğu gibi, eksiksiz bir analiz yapmak için aşağıdakileri de değerlendirmek gerekir:

- statik kararlılık problemlerinin analizi için kararlı durum koşulları altında davranış

- dinamik kararlılık problemlerinin analizi için, özellikle de üç fazlı bir kısa devre oluştuğunda yük aniden değiştiğinde, geçici koşullar altında davranış.

Bu nedenle, makine reaktansının değerlerini bilmek gereklidir, özellikle:

- birinci tip sorunla ilgili olarak, belirleyici parametre senkron reaktans ile temsil edilir;

- ikinci tip sorunla ilgili olarak, ilgili zaman sabitleri ve geçici olmayan reaktans ile geçici reaktans.

Bu yazıda, jeneratöre bağlı olguların statik ve dinamik analizi ayrıntılı olarak ele alınmayacak, ancak sadece aşağıdaki öğeler incelenecek ve tespit edilecektir:

- sargılara, jeneratör-transformatör bağlantılarına ve alternatörün temellerindeki gerilmelere bağlı olan kısa devrenin ilk anlarındaki maksimum akım değeri;

- beslenen şebekedeki korumaların uygun bir şekilde koordine edilmesi için temel olan kısa devre akımı dalga formu. Zaman-akım eğrisindeki kısa devre akımı tipik bir seyir gösterir: kararlı durum değerine ulaşmadan önce kademeli olarak düştüğü daha yüksek değerlere ulaşır.

Bu davranış, jeneratörün pratik olarak sadece reaktans tarafından oluşturulmuş olan empedansının kesin bir değere sahip olmayıp anlık olarak değiştiği gerçeğine bağlıdır. Çünkü bağımlı olduğu manyetik akı hemen kararlı duruma ulaşmaz. Farklı endüktans değeri, genellikle manyetik çizgilerin farklı yolu nedeniyle, akının herhangi bir konfigürasyonuna karşılık gelir. Ayrıca, tek bir devre ve tek bir endüktans yoktur; karşılıklı olarak bağlanmış birden çok endüktans (armatür sargısının, alan sargısının, sönmüleme devrelerinin sargısının) vardır. Basitleştirmek için aşağıdaki parametreler dikkate alınacaktır:

alt geçici reaktans, doğru eksen X''_d
geçici reaktans, doğru eksen X'_d
senkron reaktans, doğru eksen X_d

Bu parametrelerin zaman içindeki gelişimi jeneratördeki kısa devre akımının seyrini etkiler. Reaktanslar genellikle p.u. (per unit) ve yüzde cinsinden ifade edilir, yani makinenin nominal parametrelerine bağlıdır.

Aşağıdaki ilişki ile belirlenebilirler:

$$x_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot X}{V_n} \cdot 100$$

Burada:

X, dikkate alınan reaktansın ohm cinsinden gerçek değeridir;

I_n , makinenin nominal akımıdır;

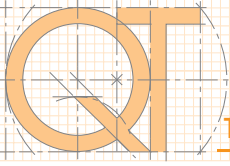
V_n , makinenin nominal gerilimidir.

Aşağıdaki değerler çeşitli reaktanslar için büyüklük sırası olarak gösterilebilir:

- alt geçici reaktans: değerler, turbo alternatörlerde (yumuşak rotorlu izotropik makineler) %10 ila %20, çıkık kutuplu rotora sahip makinelerde (anizotropik) %15 ila %30 arasında değişir;

- geçici reaktans: değerler, turbo alternatörlerde (yumuşak rotorlu izotropik makineler) %15 ila %30, çıkık kutuplu rotora sahip makinelerde (anizotropik) %30 ila %40 arasında değişir;

- senkron reaktans: değerler, turbo alternatörlerde (yumuşak rotorlu izotropik makineler) %120 ila %200, çıkık kutuplu rotora sahip makinelerde (anizotropik) %80 ila %150 arasında değişir.



Transformatör

Üçgen primer sargı (Δ) topraklı yıldız noktası olan sekonder sargıya (Y_{tr}) sahip bir OG/AG transformatör. Genellikle bilinen ve trafoyu karakterize eden elektriksel parametreler:

- nominal görünür güç S_n [kVA]
- primer nominal gerilim V_{1n} [V]
- sekonder nominal gerilim V_{2n} [V]
- yüzde cinsinden kısa devre gerilimi $V_{k\%}$ (tipik değerler %4 ve %6'dır)

Bu verilerle, primer ve sekonder nominal akımları ve kısa devre koşullarındaki kısa devre akımlarını saptamak mümkündür.

Transformatörlerin nominal gücüne bağlı olarak kısa devre geriliminin ($V_{k\%}$) tipik değerleri Tablo 2'de (referans standart IEC 60076-5) verilmiştir.

Tablo 2

Nominal görünür güç S_n [kVA]	Kısa devre gerilimi $V_{k\%}$
≤ 630	4
$630 < S_n \leq 1250$	5
$1250 < S_n \leq 2500$	6
$2500 < S_n \leq 6300$	7
$6300 < S_n \leq 25000$	8

Aşırı yük koşullarında çalışma kapasitesi, her bir transformatörün yapısal özelliklerine bağlıdır. Genel bilgi olarak, yağlı transformatörlerin aşırı yük koşullarındaki işletme kapasitansları, ANSI C57.92 Standardında ve Tablo 3'te gösterilen değerlere göre değerlendirilebilir.

Tablo 3

Transformatörün nominal akımının katı	Zaman [s]
25	2
11.3	10
6.3	30
4.75	60
3	300
2	1800

Asenkron motor

Asenkron motor için bilinen veriler, nominal aktif güç (kW), nominal gerilim (V_n) ve nominal akımdır (I_n). Değerler arasında verimlilik değeri ve güç faktörü de mevcuttur. Kısa devre durumunda, asenkron motor, %20 ila %25 arasındaki bir alt geçici reaktansa sahip bir jeneratör olarak çalışır. Bu, nominal akımın 4-5 katı kadar bir akımın, kısa devreye katkısı olduğunun varsayıldığı anlamına gelir.

2.2 Kısa devre akımının hesaplanması

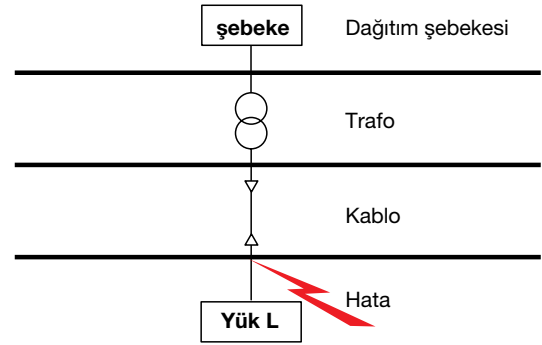
Şekil 1'de şematik olarak gösterilen elektrik şebekesine referansla, yük terminalleri üzerinde bir kısa devre olduğu varsayılır. Şebeke, her bir elektrikli bileşenin "direnc" ve "reaktans" parametrelerini kullanarak incelenebilir ve bu parametrelerle temsil edilebilir.

Direnc ve reaktans değerleri, kısa devre akımının hesaplanması için referans değer olarak varsayılan aynı gerilim değerine bağlı olmalıdır.

Daha yüksek gerilime (V_1) bağlı empedans değerlerinden (Z_1) daha düşük bir gerilime (V_2) ilişkin değerlere (Z_2) geçiş, dönüşüm oranı vasıtasıyla gerçekleşir:

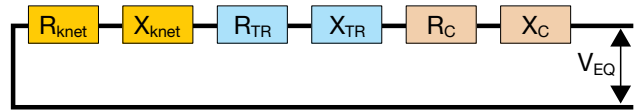
$$K = \frac{V_1}{V_2} \text{ aşağıdaki ilişkiye göre: } Z_2 = \frac{Z_1}{K^2}$$

Şekil 1



Söz konusu elektrik şebekesinin yapısı, seri haldeki elemanlar vasıtasıyla temsil edilebilir; böylece Şekil 2'de gösterilen, hata noktasından görülen eşdeğer empedansı hesaplamaya izin veren bir eşdeğer devre elde edilir.

Şekil 2



Kısa devre noktasında, eşdeğer bir gerilim kaynağı (V_{EQ}) yerleştirilir, değeri:

$$V_{EQ} = \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3}}$$

"C" faktörü, sistem gerilimine bağlıdır ve yüklerin ve şebeke gerilimindeki değişimin etkisini hesaba katar.

Bu hususlara dayanarak, tesisatı oluşturan elemanları karakterize eden direnc ve reaktans değerlerini belirlemek mümkündür.

Besleme şebekesi (net)

Çoğu durumda, tesisat, besleme gerilimi değeri (V_{net}) ve başlangıç kısa devre akımı (I_{knet}) kolaylıkla bulunabilen orta gerilim dağıtım şebekesi tarafından beslenir.

Bu verilere ve kısa devre kaynaklı gerilim değişikliği için bir düzeltme faktörüne dayanarak, şebekenin kısa devre direkt empedansını aşağıdaki formüle göre hesaplamak mümkündür:

$$Z_{knet} = \frac{c \cdot V_{net}}{\sqrt{3} \cdot I_{knet}}$$

Şebeke direnci ve şebeke reaktansı parametrelerinin hesaplanması için aşağıdaki ilişkiler kullanılabilir:

$$\begin{aligned} X_{knet} &= 0.995 \cdot Z_{knet} \\ R_{knet} &= 0.1 \cdot X_{knet} \end{aligned}$$

Dağıtım şebekesi için kısa devre görünür gücü (S_{knet}) bilinmiyorsa, şebekeyi temsil eden empedansı aşağıdaki ilişki ile belirlemek de mümkündür:

$$Z_{knet} = \frac{c^2 \cdot V_{net}^2}{S_{knet}}$$

Transformatör

Trafonun empedansı, aşağıdaki formülü kullanarak trafonun kendisinin nominal parametreleri (nominal gerilim V_{2n} ; görünür güç S_{nTR} ; yüzde gerilim düşümü $v_k\%$) ile hesaplanabilir:

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 \cdot v_k\%}{100 \cdot S_{nTR}}$$

Rezistif bileşen, aşağıdaki ilişki uyarınca nominal akıma ilişkin toplam kayıpların (P_{PTR}) değeri ile hesaplanabilir:

$$R_{TR} = \frac{P_{PTR}}{3 \cdot I_{2n}^2}$$

Reaktif bileşen klasik ilişki ile belirlenebilir

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)}$$

Kablolar ve havai hatlar

Bu bağlantı elemanlarının empedans değeri, hat direncini ve hat reaktansını etkileyen farklı faktörlere (yapısal teknikler, sıcaklık vb.) bağlıdır. Uzunluk birimi başına ifade edilen bu iki parametre kablo üreticisi tarafından verilir. Empedans genellikle aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$Z_c = L \cdot (r_c + x_c)$$

Direnç değerleri genellikle 20°C referans sıcaklığında verilir; farklı çalışma sıcaklıkları θ için, aşağıdaki formül ile ilgili direnç değerini hesaplamak mümkündür:

$$r_\theta = [1 + (\alpha - 20)] \cdot r_{20}$$

burada:

α , malzemenin türüne (bakır için 3.95×10^{-3}) bağlı sıcaklık katsayısıdır.

Kısa devre akımının hesaplanması

Bir devrenin ana elemanlarının kısa devre direnci ve reaktans değerlerinin saptanması tesisatın kısa devre akımlarının hesaplanmasına izin verir.

Şekil 2'ye referansla ve seri haldeki elemanlar için indirgeme yöntemini uygulayarak, aşağıdaki değerler tespit edilebilir:

- kısa devre akımı toplam direnç $R_{TK} = \Sigma R$

- kısa devre akımı toplam reaktans $X_{TK} = \Sigma X$

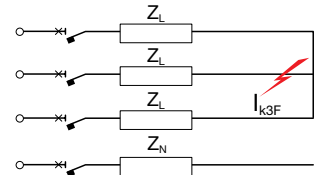
Bu iki parametre bilindikten sonra, kısa devre toplam empedans değerini (Z_{TK}) belirlemek mümkündür.

$$Z_{TK} = \sqrt{(R_{TK}^2 + X_{TK}^2)}$$

Arıza noktasından görülen eşdeğer empedansı belirdikten sonra, üç fazlı kısa devre akımının hesaplanması ile devam etmek mümkündür:

Üç fazlı simetrik kısa devre akımının değeri

$$I_{k3F} = \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{TK}}$$

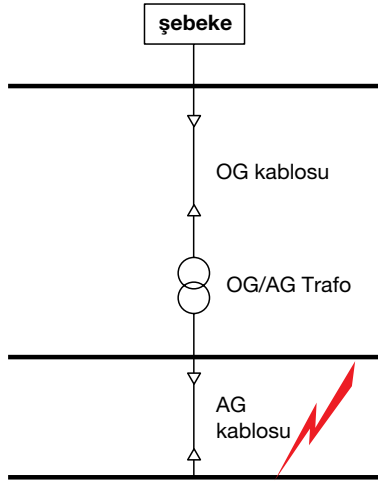


Bu genellikle en yüksek akımları üreten hata olarak kabul edilir (belirli koşullar hariç). Herhangi bir dönen makine yokken veya hareketleri azaldığında, bu değer de kararlı durum kısa devre akımını temsil eder ve koruma cihazının kesme kapasitesini belirlemek için referans olarak alınır.

Yukarıda açıklanan ilişkiyi kullanarak üç fazlı kısa devre akımının hesaplanmasına bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek:

Şeması çıkarılmış şebekeye göre, farklı bileşenlerin elektiriksel parametreleri şöyledir:



Besleme şebekesinin kısa devre gücü ve akımı
 $S_{knet} = 500\text{MVA}$ $I_{knet} = 14.4\text{kA}$
 Besleme şebekesinin nominal gerilimi $V_{net} = 20\text{kV}$
 OG kablo:
 Direnç $R_{CMV} = 360\text{m}\Omega$
 Reaktans $X_{CMV} = 335\text{m}\Omega$
 Transformörün nominal gücü $S_{nTR} = 400\text{kVA}$
 Transformörün sekonder nominal gerilimi $V_{2n} = 400\text{V}$
 Transformör için kısa devre testi: $v_{k\%} = 4\%$; $p_{k\%} = 3\%$
 AG kablo uzunluğu $L = 5\text{m}$:
 Direnç $R_{CLV} = 0.388\text{m}\Omega$
 Reaktans $X_{CLV} = 0.395\text{m}\Omega$

Önceki ilişkiye atıfta bulunmak suretiyle, farklı elemanların toplam empedansının hesaplanması, verilen noktadaki üç fazlı kısa devre akımını belirlemek için yapılır. Arıza AG tarafında olduğu için, şebekenin OG bölümü için belirlenen tüm parametreler, katsayı uygulanarak sekonder nominal gerilimle ilişkilendirilecektir.

$$K = \frac{20000}{400} = 50$$

Besleme şebekesi

$$Z_{knet} = \frac{c \cdot V_{net}}{\sqrt{3} \cdot I_{knet}} = \frac{1.1 \cdot 20000}{\sqrt{3} \cdot 14.4 \cdot 10^3} = 0.88\Omega$$

$$Z_{knet\ 400V} = \frac{Z_{knet}}{K^2} = \frac{0.88}{50^2} = 0.00035\Omega$$

$$X_{knet\ 400V} = 0.995 \cdot Z_{knet\ 400V} = 0.000348\Omega$$

$$R_{knet\ 400V} = 0.1 \cdot X_{knet\ 400V} = 0.0000348\Omega$$

OG kablo

$$R_{CMV\ 400V} = \frac{R_{CMT}}{K^2} = \frac{360 \cdot 10^{-3}}{50^2} = 0.000144\Omega$$

$$X_{CMV\ 400V} = \frac{X_{CMT}}{K^2} = \frac{335 \cdot 10^{-3}}{50^2} = 0.000134\Omega$$

Transformör

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 \cdot v_k\%}{100 \cdot S_{nTR}} = \frac{400^2 \cdot 4}{100 \cdot 400 \cdot 10^3} = 0.016\Omega$$

$$P_{PTR} = \frac{p_{k\%} \cdot S_{nTR}}{100} = \frac{3}{100} \cdot 400 \cdot 10^3 = 12\text{kW}$$

$$I_{2n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 577\text{A}$$

$$R_{TR} = \frac{P_{PTR}}{3 \cdot I_{2n}^2} = \frac{12000}{3 \cdot 577^2} = 0.012\Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{(0.016^2 - 0.012^2)} = 0.0106\Omega$$

AG kablo

$$R_{CLV} = 0.388\text{m}\Omega$$

$$X_{CLV} = 0.395\text{m}\Omega$$

Toplam kısa devre direncinin değeri: $R_{Tk} = \Sigma R$

$$R_{Tk} = R_{knet\ 400V} + R_{CMV\ 400V} + R_{TR} + R_{CLV}$$

$$R_{Tk} = 0.0000348 + 0.000144 + 0.012 + 0.000388 = 0.01256\Omega$$

Toplam kısa devre reaktansının değeri:

$$X_{Tk} = X_{knet\ 400V} + X_{CMV\ 400V} + X_{TR} + X_{CLV}$$

$$X_{Tk} = 0.000348 + 0.000134 + 0.0106 + 0.000395 = 0.01147\Omega$$

Üç fazlı simetrik kısa devre akımı değeri

Toplam kısa devre empedansının hesaplanması

$$Z_{Tk} = \sqrt{(R_{Tk}^2 + X_{Tk}^2)} = \sqrt{(0.01256^2 + 0.01147^2)} = 0.017\Omega$$

c faktörünün $c^{(1)} = 1.1$ olduğu kabul edilerek kısa devre akımının değeri:

$$I_{k3F} = \frac{c \cdot V_{2n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tk}} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.017} = 14943\text{A} = 14.95\text{kA}$$

Kısa devre akım hesaplamasına ilişkin daha ayrıntılı bilgi ve hususlar için, bu belgenin "Ek B" bölümüne bakın.

⁽¹⁾ Gerilim faktörü "c", hesaplamada açıkça düşünülmeyen bazı olayların etkisini simüle etmek için gereklidir, örneğin:

- gerilimin zamanla değişimi
- transformör kademelerindeki değişiklikler
- döner makinelerin (jeneratörler ve motorlar) alt geçici olguları.

2.3 Motor katkısının hesaplanması

Kısa devre durumunda, motor generatör olarak çalışmaya başlar ve hatayı, motorun manyetik devresinde depolanan enerjiyi ortadan kaldırmak için gereken süreye karşılık gelen sınırlı bir süre boyunca besler. Motorun alt geçici reaktansı "X" ile elektriksel bir gösterimi ile, motor katkısının sayısal değerini hesaplamak mümkündür. Bu verilerin bulunması genellikle zordur; bu nedenle genel kural, motor katkısını motor nominal akımının bir katı olarak düşünmektir. Çarpma faktörünün tipik değerleri 4 ile 6 kat arasında değişir.

Bir AG motoru için, zamanın uzunluğuna atfen, kısa devre akımına katkının etkisi, kısa devrenin başlangıcından sonraki ilk periyotlardan sonra zaten ihmal edilebilir olur. IEC 60909 standardı, olguyu dikkate almak için asgari kriterleri belirtir:

$$(\sum I_{nM} > \frac{I_k}{100})$$

burada:

$\sum I_{nM}$, kısa devrenin olduğu şebekeye doğrudan bağlı motorların nominal akımlarının toplamını temsil eder. I_k , motor katkısı olmadan belirlenen üç fazlı kısa devre akımıdır.

2.4 Tepe akım değerinin hesaplanması

" I_k " kısa devre akımının, iki bileşenden oluştuğu kabul edilebilir:

- sinüzoidal dalga formuna sahip ve zamanların x eksenine göre tam simetrik olan simetrik bir " i_s " bileşeni. Bu bileşen aşağıdaki ilişki ile ifade edilir:

$$i_s = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi_k)$$

- bir endüktif bileşenin varlığına bağlı olarak üstel eğriye sahip tek yönlü " i_u " bileşeni. Bu bileşen zaman sabiti $\tau=L/R$ ile karakterize edilir ("R" direnci ve "L" devrenin hata noktasının kaynak tarafındaki endüktansı gösterir) τ 'nin 3 ile 6 katı sonrası ortadan kaybolur.

$$i_u = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot \sin\varphi_k \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}$$

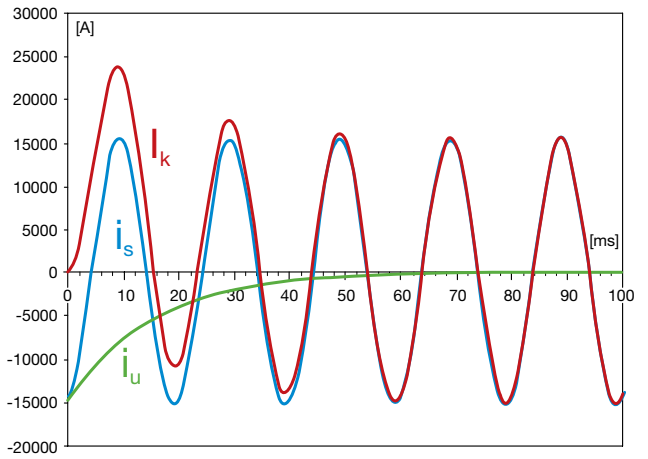
Geçici periyot boyunca tek yönlü bileşen, asimetric kısa devre akımının zirve değeri olarak adlandırılan maksimum bir değerle karakterize edilmesini sağlar. Bu, tamamen sinüzoidal bir büyüklükten dolayı, olması gereken de-

ğerden daha yüksektir. Genel olarak söylemek gerekirse, kısa devre akımının (I_k) simetrik bileşeninin rms değerini göz önüne alırsak, ilk akım tepe değerinin şu şekilde değişebileceğini belirtmek mümkündür

$$\sqrt{2} \cdot I_k \text{ a } 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k.$$

Transient süresi geçtikten sonra, kısa devre akımı pratik olarak simetrik hale gelir. Akım eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 3



Bilindiği gibi cihazın çalışma gerilimine göre kısa devre koşulları altında bir devre kesicinin performansları esas olarak aşağıdaki parametrelerle tanımlanır:

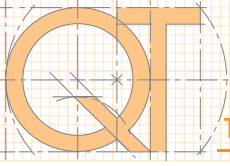
I_{cu} = kesme kapasitesi

I_{cm} = kapama kapasitesi

Kesme kapasitesi I_{cu} , kısa devre akımının simetrik bileşeninin rms değerine göre tanımlanır. Bir sinüzoidal akımın rms değerinin, eşit bir sürede aynı termik etkileri üreten doğru akım değerini temsil ettiğini söylemek mümkündür. Sinüzoidal büyüklükler genellikle rms değerleriyle ifade edilir. Rms değeri olarak, normal olarak klasik ilişki ile hesaplanabilen kısa devre akım değerini göz önüne almak mümkündür:

$$I_k = \frac{V}{\sqrt{(R^2 + X^2)}}$$

Kapama kapasitesi I_{cm} , beklenen kısa devre akımının azami tepe değeri referans alınarak tanımlanır.



Empedanslı her eleman yük tarafındaki kısa devre akımını değiştirdiği için ve bir devre kesici kendine has bir empedansa sahip bir eleman olduğundan, beklenen akım, koruma cihazı sıfır empedanslı bir elemanla değiştirildiğinde akan akım olarak tanımlanır.

IEC 60947-2 ürün standardı, tesisin güç faktörüne bağlı olan bir çarpım katsayısı üzerinden, kısa devre akımının rms değerinden ilgili tepe değerine geçmesini sağlayan bir tablo verir. Bu tablo, çeşitli devre kesicilerin Icu ve Icm değerlerini belirlemek için gerekli referanstır.

Devre kesicilerin özelliklerinden tesisatın özelliklerine geçerken, akımın simetrik bileşeninin rms değeri anında hesaplanırken, ilgili tepe değerin belirlenmesi biraz daha uzun sürebilir. Kısa devre güç faktörü veya hata noktasının yük tarafındaki devrenin direnci ve endüktansı arasındaki oran gibi gerekli parametreler her zaman mevcut değildir.

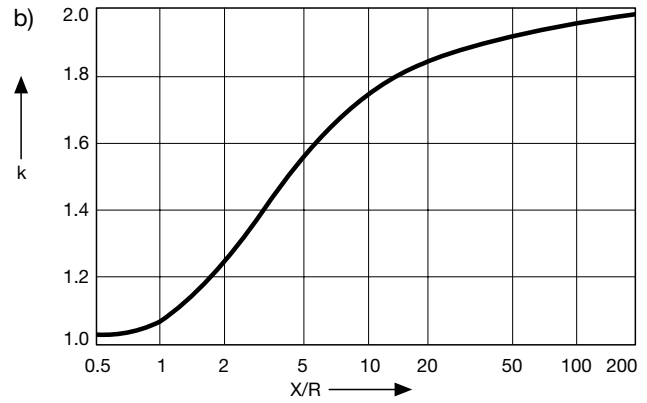
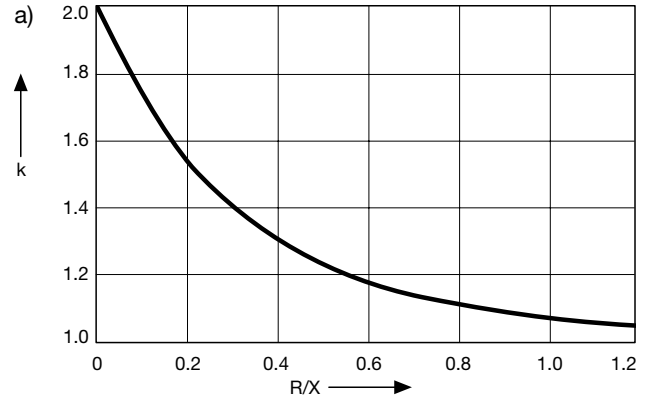
IEC 60909 standardı, tepe akımının hesaplanması için bazı yararlı bilgiler verir ve özellikle aşağıdaki ilişkiyi rapor eder:

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$$

burada "k" değeri aşağıdaki yaklaşık formül ile hesaplanabilir:

$$k = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}}$$

veya "k" değerini "R/X" veya "X/R" parametresinin bir fonksiyonu olarak gösteren aşağıdaki diyagramlar aracılığıyla.



Örnek:

Üç fazlı kısa devre akımının simetrik bileşeninin rms değerinin $I_k = 33\text{kA}$ olduğunu ve kısa devre koşulları altında bir tepe değeri varsayarsak ($\cos\phi_k = 0.15$), tepe değerini belirlemek için nasıl ilerleneceğini anlamak mümkündür: $\cos\phi_k$ değerinden, teğet hesaplama yoluyla X/R oranına belirgin hale getirmek mümkündür. X/R = 6.6 oranını grafik veya formül üzerinden hesapladıktan sonra, üç fazlı kısa devre akımı $I_k = 33\text{kA}$ ile uyumlu olarak $I_p = 76.6\text{kA}$ tepe değerini veren $k = 1.64$ değerini bulmak mümkündür.

400V nominal gerilimde bir kurulum için bir koruma cihazı seçme ihtiyacı göz önüne alındığında, sadece üç fazlı kısa devre akımına göre IEC 60947-2 standardına uygun olarak, $I_{cm} = 75.6\text{kA}$ kapama kapasitesine karşılık gelecek şekilde kesme kapasitesi $I_{cu} = 36\text{kA}$ olan bir devre kesici kullanılabilir. Bu tür kapama kapasitesi, dikkate alınan tesisatta yapılabilecek tepe değerinden daha düşük olur; bu nedenle seçim doğru olmaz ve daha yüksek kesme kapasitesi (örneğin 50 kA) olan bir devre kesici versiyonunun kullanılmasını zorlar; dolayısıyla I_{cm} daha büyüktür ve tesisatın tepe değeri için uygundur.

Yukarıdaki örnekten, ilk önce bir devre kesicinin "N" versiyonunun (36 kA kesme kapasitesine sahip) yanlış bir şekilde seçildiğini görmek mümkündür. Bunun aksine, tepe değere ilişkin durum göz önünde bulundurulması, "S" veya "H" devre kesici versiyonunun kullanılmasına sebep olacaktır.

3 Koruma ve kontrol cihazlarının seçimi

3.1 Koruma ve kontrol cihazlarının başlıca elektrik parametreleri hakkında genel bilgiler

Genel olarak, devre kesici gibi bir koruma ve kontrol cihazının analiz edilmesi ve seçilmesi gerektiğinde, cihazın kendisini karakterize eden bazı elektriksel parametreler (örneğin nominal akım ve kesme kapasitesi gibi) değerlendirilecektir.

Aşağıda, tesisatın elektriksel büyüklükleriyle ilişkili olan bu parametrelerin kısa bir açıklaması verilmiştir.

Nominal çalışma gerilimi U_e : ekipmanın uygulama sınırını belirleyen ve ekipmana özgü tüm diğer parametreleri ilgilendiren gerilim değerini temsil eder. Genellikle, fazlar arasındaki gerilim olarak ifade edilir.

Nominal kesintisiz akım I_u : cihazın süresiz olarak (haftalar, aylar veya yıllar boyunca) taşıyabileceği akım değeridir. Bu parametre, devre kesicinin boyutunu tanımlamak için kullanılır.

Nominal akım I_n : devre kesicide kurulu olan koruma bobini karakterize eden akım değeridir ve devre kesicinin kendisinin koruyucu özelliğine göre bobin için mevcut olan ayarları belirler. Bu akım genellikle devre kesicinin kendisi tarafından korunan yükün nominal akımı ile ilgilidir.

Nominal maksimum kısa devre kesme kapasitesi I_{cu} : kısa devre akımının simetrik bileşeninin rms değeri, devre kesicinin kesebildiği maksimum değerdir. Bu değer açıkça tanımlanmış bir test döngüsü (A-t-KA) ve IEC 60947-2 ürün standardında açıklanan belirlenmiş test yöntemleri vasıtasıyla oluşturulmuştur. Devre kesiciler, kesme kapasitelerine atıf yapılan harflerle ("N", "S", "H", "L" vb.) tanımlanan performans seviyelerine göre sınıflandırılır.

Nominal servis kısa devre kesme kapasitesi I_{cs} : devre kesicinin kesebildiği kısa devre akımının simetrik bileşeninin rms değeridir. Bu değer açıkça tanımlanmış bir test döngüsü (A-t-KA-t-KA) ve IEC 60947-2 ürün standardında açıklanan belirlenmiş test yöntemleri vasıtasıyla oluşturulmuştur.

Nominal nihai kısa devre kesme kapasitesinin %25 - %50 - %75 - %100'ü olarak ifade edilir, örneğin $I_{cs} = 75 I_{cu}$ olabilir.

Kesme kapasitesinin değeri devre kesicinin kendi kurulum noktasındaki kısa devre akım değeri ile ilişkilendirilmeli ve $I_{cu} > I_k$ veya $I_{cs} > I_k$ ilişkisi doğrulanmalıdır.

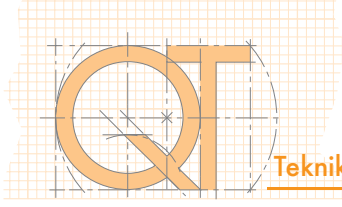
Nominal kısa devre kapama kapasitesi I_{cm} : Devre kesicinin kapaması gereken maksimum prospektif tepe akımdır. Alternatif akımda, kısa devre koşullarında bir devre kesicinin nominal kapama kapasitesi, nominal nihai kısa devre kesme kapasitesinin faktör "n" ile çarpımından daha düşük olmamalıdır, böylece $I_{cm} = n \times I_{cu}$ olacaktır. Böylesi bir I_{cm} değeri, devre kesicinin kurulum noktasında ölçülen akımın tepe değeri ile ilişkilendirilecektir ve $I_{cm} > I_p$ ilişkisinin doğrulanması gerekir.

Aşağıdaki Tablo 1, IEC 60947-2 ürün standardında belirtilen "n" katsayısının değerlerini göstermektedir.

Tablo 1

Kesme kapasitesi I_{cu}	Güç faktörü	n
$4.5 \leq I_{cu} \leq 6$	0.7	1.5
$6 < I_{cu} \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I_{cu} \leq 20$	0.3	2
$20 < I_{cu} \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I_{cu}$	0.2	2.2

Nominal kısa devre dayanım akımı I_{cw} : devre kesicinin belirli bir süre zarfında uğramadan dayanabileceği alternatif akım bileşeninin rms değeridir; tercih edilen değerler 1s ve 3s'dir.



Kompakt tip devre kesiciler

ürün ailesi	Tmax								
	T1			T2				T3	
devre kesici	690			690				690	
nominal çalışma gerilimi (Ue)	690			690				690	
nominal kesintisiz akım (Iu)	160			160				250	
Nominal maksimum kısa devre kesme kapasitesi (Icu)	B	C	N	N	S	H	L	N	S
(AC) 50-60 Hz 220/230V	25	40	50	65	85	100	120	50	85
(AC) 50-60 Hz 380/415V	16	25	36	36	50	70	85	36	50
(AC) 50-60 Hz 440V	10	15	22	30	45	55	75	25	40
(AC) 50-60 Hz 500V	8	10	15	25	30	36	50	20	30
(AC) 50-60 Hz 690V	3	4	6	6	7	8	10	5	8
nominal servis kısa devre kesme kapasitesi (Ics)									
(AC) 50-60 Hz 220/230V	100%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	50%
(AC) 50-60 Hz 380/415V	100%	100%	75%	100%	100%	100%	75% ⁽¹⁾	75%	50% ⁽²⁾
(AC) 50-60 Hz 440V	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
(AC) 50-60 Hz 500V	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
(AC) 50-60 Hz 690V	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
nominal kısa devre kapama kapasitesi (Icm)									
(AC) 50-60 Hz 220/230V	52.5	84	105	143	187	220	264	105	187
(AC) 50-60 Hz 380/415V	32	52.5	75.6	75.6	105	154	187	75.6	105
(AC) 50-60 Hz 440V	17	30	46.2	63	94.5	121	165	52.5	84
(AC) 50-60 Hz 500V	13.6	17	30	52.5	63	75.6	105	40	63
(AC) 50-60 Hz 690V	4.3	5.9	9.2	9.2	11.9	13.6	17	7.7	13.6

(1) 70kA (2) 27kA (3) T5 630 için %75 (4) T5 630 için %50 (5) Yalnızca T7 800/1000/1250 A için

Açık tip devre kesiciler

ürün ailesi	Emax								
	X1			E1		E2			
devre kesici	690			690		690			
nominal çalışma gerilimi (Ue)	690			690		690			
performans seviyeleri	B	N	L	B	N	B	N	S	L
nominal kesintisiz akım (Iu)	630	630	630	800	800	1600	1000	800	1250
	800	800	800	1000	1000	2000	1250	1000	1600
	1000	1000	1000	1250	1250		1600	1250	
	1250	1250	1250	1600	1600		2000	1600	
	1600	1600						2000	
Nominal maksimum kısa devre kesme kapasitesi (Icu)									
(AC) 50-60 Hz 220/230/380/415 V	42	65	150	42	50	42	65	85	130
(AC) 50-60 Hz 440V	42	65	130	42	50	42	65	85	110
(AC) 50-60 Hz 500/525V	42	55	100	42	50	42	55	65	85
(AC) 50-60 Hz 660/690V	42	55	60	42	50	42	55	65	85
nominal servis kısa devre kesme kapasitesi (Ics)									
(AC) 50-60 Hz 220/230/380/415 V	42	50	150	42	50	42	65	85	130
(AC) 50-60 Hz 440V	42	50	130	42	50	42	65	85	110
(AC) 50-60 Hz 500/525V	42	42	100	42	50	42	55	65	85
(AC) 50-60 Hz 660/690V	42	42	45	42	50	42	55	65	85
nominal kısa devre kapama kapasitesi (Icm)									
(AC) 50-60 Hz 220/230/380/415 V	88.2	143	330	88.2	105	88.2	143	187	286
(AC) 50-60 Hz 440V	88.2	143	286	88.2	105	88.2	143	187	242
(AC) 50-60 Hz 500/525V	88.2	121	220	75.6	75.6	84	121	143	187
(AC) 50-60 Hz 660/690V	88.2	121	132	75.6	75.6	84	121	143	187
Nominal kısa devre dayanım akımı (Icw)	(1s)	42	42	15	42	50	42	55	10
	(3s)				36	36	42	42	

(1) 600V'daki performansı 100kA'dır.

T4					T5					T6				T7				
690					690					690				690				
250/320					400/630					630/800/1000				800/1000/1250/1600				
N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	S	H	L	V ⁽⁵⁾	
70	85	100	200	300	70	85	100	200	300	70	85	100	200	85	100	200	200	
36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150	
30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130	
25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100	
20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% ⁽³⁾	100% ⁽⁴⁾	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% ⁽³⁾	100% ⁽⁴⁾	100% ⁽⁴⁾	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%	
154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440	
75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	220	105	154	264	330	
63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	94.5	105	176	105	143	220	286	
52.5	63	105	187	330	52.5	63	105	187	330	52.5	73.5	105	143	84	105	187	220	
40	52.5	84	154	176	40	52.5	84	154	176	40	48.4	55	66	63	88,2	105	132	

E3					E4			E6		
690					690			690		
N	S	H	V	L	S	H	V	H	V	
2500	1000	800	800	2000	4000	3200	3200	4000	3200	
3200	1250	1000	1250	2500		4000	4000	5000	4000	
	1600	1250	1600					6300	5000	
	2000	1600	2000						6300	
	2500	2000	2500							
	3200	2500	3200							
	3200									
65	75	100	130	130	75	100	150	100	150	
65	75	100	130	110	75	100	150	100	150	
65	75	100	100	85	75	100	130	100	130	
65	75	85 ⁽¹⁾	100	85	75	85 ⁽¹⁾	100	100	100	
65	75	85	100	130	75	100	150	100	125	
65	75	85	100	110	75	100	150	100	125	
65	75	85	85	65	75	100	130	100	100	
65	75	85	85	65	75	85	100	100	100	
143	165	220	286	286	165	220	330	220	330	
143	165	220	286	242	165	220	330	220	330	
143	165	187	220	187	165	220	286	220	286	
143	165	187	220	187	165	187	220	220	220	
65	75	75	85	15	75	100	100	100	100	
65	65	65	65		75	75	75	85	85	

3.2 Devre kesici seçimi ile ilgili kriterler

Bir devre kesici için çeşitli seçim kriterleri, devre kesicinin tipik elektriksel parametrelerinin doğrulanmasına ilaveten (gerilim - akım kesme kapasitesi vs.), atanmış olan cihazları korumak için devre kesicinin koruma yeteneğinin doğrulanmasını da şart koşar.

Aşağıda, bir kurulumda en yaygın kullanılan cihazların korunmasını sağlamak için takip edilecek doğrulama yöntemlerinin kısa bir analizi bulunmaktadır.

Besleme hatlarının korunması

Kablo, aşırı yük ve kısa devreye karşı korunmalıdır.

Aşırı yüke karşı koruma olarak, aşağıdaki durum doğrulanmalıdır: $I_B \leq I_1 \leq I_2$

burada:

I_B , yük akımıdır,

I_1 , koruma ünitesinde ayarlanan aşırı yük açma eşiğidir ("L" fonksiyonu);

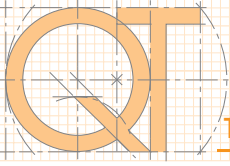
I_2 , kablunun sürekli akım taşıma kapasitesidir.

Kısa devreye karşı koruma açısından, $K^2S^2 \geq I^2t$ durumu doğrulanacaktır.

burada:

K^2S^2 , kablunun dayanabileceği ve de S kesiti ve K sabitinin bir fonksiyonu haline gelen spesifik enerjidir. Bu değer PVC izoleli kablolar için 115, EPR izoleli kablolar için 143'e eşittir.

I^2t , tesisatın azami kısa devre akımına karşılık gelen devre kesicinin özgül geçiş enerjisidir.



Korunan maksimum uzunluk

AG tarafında TN-S tipi sekonder devre için IEC 60364 standardı, kablo ucundaki minimum kısa devre akımını değerlendirmek adına yaklaşık bir hesaplama için bazı göstergeler verir. Bu standart, iletken ucunda bir faz-nötr arızası olması durumunda, minimum hata akımı durumunun meydana geldiğini varsayar. Oluşan fark, nötr iletkenin dağıtılmış olup olmadığına bağlıdır ve hesaplama formülleri aşağıdaki gibidir:

TN-S nötr iletken dağıtılmamış

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot V \cdot S_F}{1.5 \cdot \rho \cdot 2 \cdot L}$$

TN-S nötr iletken dağıtılmış

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot V_0 \cdot S_F}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot L}$$

burada:

0.8 – 1.5 – 2 ilgili formülün karakteristik sabitleri

V sistemin faz-faz gerilimi

V₀ sistemin faz-nötr gerilimi

S_F faz iletkeninin kesiti

ρ kablunun iletken malzemesinin direnci

m nötr iletkenin direnci ile faz iletkeninin direnci arasındaki oran. Faz ve nötr iletkenin aynı malzemeden olduğu oldukça yaygın durumda, "m", faz ile nötr kesitler arasındaki oran olur.

L metre cinsinden kablo uzunluğu [m]

I_{kmin} kablo ucundaki minimum kısa devre akımı

Eğer, yukarıdaki formüllerde, I_{kmin} değeri, kullanılan devre kesicinin daha yüksek toleransını da kapsayan I_{3Max} açma eşiği ile değiştirilir ve formül, uzunluk açık hale getirilerek çözümlerse, elde edilen sonuç, gösterge niteliğinde olacak şekilde koruma cihazındaki manyetik eşik ayarı tarafından korunan maksimum kablo uzunluğunun değerini verir.

Bu şekilde elde edilen formüller:

$$L_{Max} = \frac{0.8 \cdot V_0 \cdot S_F}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_{3Max}}$$

$$L_{Max} = \frac{0.8 \cdot V \cdot S_F}{1.5 \cdot \rho \cdot 2 \cdot I_{3Max}}$$

Dolaylı temasa karşı koruma

Dolaylı temasa karşı koruma, genellikle enerjili olmayan ancak ana yalıtımdaki bir arıza yüzünden, gerilim bulunduran açıktaki iletken parçalara dokunmadan kaynaklanan risklere karşı insanları korumaktır.

Güç kaynağının otomatik olarak kesilmesiyle koruma, bir arıza nedeniyle, metal çerçeve üzerinde insanlar için

tehlikeli olabilecek bir süre ve değerdeki temas gerilimleri meydana geldiğinde gereklidir.

AG kurulumları için dolaylı temasa karşı koruma tedbirleri CEI 64-8 standardı ile öngörülürken, OG kurulumları için referans standart CEI 11-1'dir.

AG sistemlerinde korumanın doğrulaması için standart, çeşitli dağıtım sistemlerine göre farklılık gösteren bazı talimatlar verir ve arıza döngü empedansına, gerilime, koruma cihazının açma yapmasına neden olan akıma ve cihazın açma zamanına işaret eder.

OG sistemlerinde dolaylı temasa karşı koruma sorunu kullanıcı tesisinin kendi trafo merkezi bulunduğu anda gerçekleşir. CEI 11-1 standardı üzerinden, I_g toprak akımı aşağıdaki ilişki ile hesaplanabilir

$$I_g = V \cdot (0.003 \cdot L1 + 0.2 \cdot L2)$$

burada L1, havai hattın uzantısını ve L2, kablunun uzantısını temsil eder.

Toprak akım değerinin değerlendirilmesi zordur, bu yüzden üretici tarafından sorulması ve atanması gerekir.

Standart, hata giderme zamanına bağlı olarak adım geriliminin ve dokunma geriliminin ulaşabileceği maksimum değeri verir.

Jeneratörlerin korunması

Bir jeneratörün kısa devre akımının tipik gösterimi referans alınarak, döner makinenin iyi bir şekilde korunması için koruma cihazı aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- aşırı yük koruması L'nin ayarının, jeneratörün nominal akımından daha yüksek veya eşit olması;
- kısa devre korumasının, kısa devrenin ilk anında açma yapması (anlık I veya gecikmeli S);
- IEC 60034-1 standardına göre 30s boyunca 1.5xI_{nG} noktasiyla verilen, makinenin aşırı akım dayanım kapasitesi ile ilgili olan koruma (I_{nG}, jeneratörün nominal akımıdır).

Transformatörlerin korunması

Koruma cihazlarının, transformatörün kaynak tarafında (üst devresinde) veya yük tarafında (alt devresinde) olduklarında sahip olmaları gereken karakteristikleri analiz etmek için şimdi bir AG/AG transformatörü dikkate alınmıştır. Devre kesicinin kaynak tarafı ile ilgili olarak, trafonun mıknatıslanma eğrisini referans almak gereklidir; eğrisi devre kesicinin açma eğrisi ile kesişmemelidir. Kesme kapasitesi, transformatörün kaynak tarafındaki şebekenin kısa devre akımına uygun olmalıdır.

Yük tarafındaki devre kesici, kısa devre durumunda trafonun en uç termik aşırı-yük kapasitesine karşı koruma garantisi verecek şekilde bir açma karakteristiğine sahip olmalıdır. IEC 60076-5 standardı, kısa devre (aşırı yük eşiği) nedeniyle, transformatörün 2 saniye boyunca izin verdiği kısa devre akım değerinden dolayı oluşan termal gerilmelere bir sınır olarak işaret eder.

Bu durum, aynı zamanda yük tarafındaki devre kesiciyi etkilemeyen sekonder tarafta bir kısa devre olması durumunda, kaynak tarafındaki devre kesici tarafından da doğrulanmalıdır. Bu analiz için, primer tarafta bildirilen ve ana devre kesicinin gerçekte gördüğü akımın dikkate alınması gerekir. Bu akım kaynak tarafındaki devre kesicinin gördüğü akımdır.

Genellikle, sekonder taraftaki bir arıza için yük tarafı ve kaynak tarafı devre kesicilerinin davranışının analizi, iki cihazı etkileyen gerçek akımlara dayanarak gerçekleştirilecektir; nitekim, sekonder taraftaki bir arızadan kaynaklanan kısa devre akımı, dönüşüm oranı üzerinden primer ile ilişkilendirilecektir.

Motor koordinasyonu

Motor koordinasyonunun incelenmesine ilişkin ayrıntılara girmek oldukça karmaşıktır ve bu yazının özel konusu değildir. Genel olarak, motor koruması için devre kesici sadece manyetik tiptedir. Manyetik eşik, istenmeyen açmalar olmadan ani akımın çekilmesini sağlayacak ve motor üzerinde kısa devre olması durumunda kontaktörü (anahtarlama cihazı) ve harici termik röleyi (aşırı yük koruması) koruyacak bir değere sahip olmalıdır.

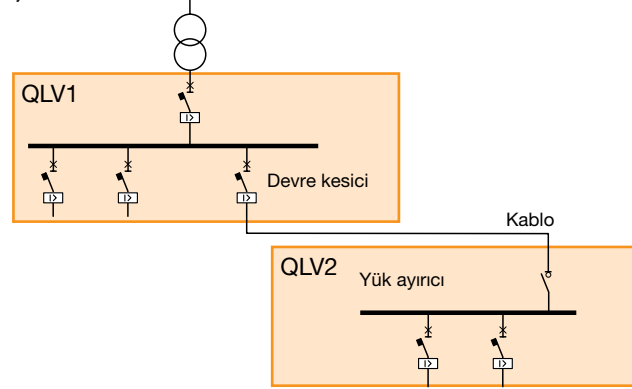
ABB, değişen motor güçleri, tesis gerilimi ve kısa devre akımı durumlarında, farklı yol verme tipolojileri için koordinasyon tabloları sunmaktadır (<http://www.abb.com/lowvoltage> web sitesinde).

3.3 Devre kesiciler ve yük ayırıcılar arasındaki koordinasyon

Ayırma işlemi, tesisatın tamamının veya bir bölümünün herhangi bir güç kaynağından güvenli bir şekilde ayrılmasıyla hizmet dışı bırakılmasını garanti altına almalıdır; böylece üzerinde çalışan insanların güvenliği garanti altına alınır. Ayırma, bütün kutupları tek bir işlemle açan cihazlarla gerçekleştirilecektir. OG uygulamaları ile ilgili olarak, trafo merkezindeki giriş hattı, birbirine kilitli bir hat ayırıcı ve toprak bağlantılı bir yük ayırıcı ile sağlanabilir. Bakım işlemi söz konusu olduğunda, hat ayırıcı açıldığında kaynak tarafı hattını otomatik olarak topraklamak için kullanılırlar.

AG tarafında, Şekil 1'de gösterildiği gibi, yük ayırıcı, sekonder bir panoya gelen giriş elemanı olabilir. Ayırıcı, açık pozisyonda kontaklar arasında belirli bir izolasyon mesafesi sağlayan bir anahtarlama teçhizatıdır. Yük ayırıcı, genellikle az miktarda akımın (veya cihazın nominal akım sırasındaki akımların) geçtiği devreleri açma veya kapama için uygundur ve bir koruma ünitesine sahip değildir.

Şekil 1



Yük ayırıcısında, açmayı çalıştıran bir cihaz bulunmadığından, kısa devre durumunda yük ayırıcısının bütünlüğünü korumak için bir koruma cihazı, örneğin bir devre kesicinin bulunması gerekir. Kısa devre olması durumunda, yük ayırıcıyı etkileyen ve devre kesici davranışı ile koşullanan elektriksel olayların, yük ayırıcının kendisi tarafından da dayanılması gerektiği anlamına gelir.

Bu amaçla, ABB bazı tablolar hazırlamaktadır. Bu tablolardan sırayla kaynak ve yük tarafındaki devre kesici ve yük ayırıcı tipine göre, bu kombinasyonun korunacağı maksimum kısa devre akımını bulmak mümkündür.

Tablo 2 ve 3 (ABB SACE "Koordinasyon Tablosu" belgelerinden çıkarılan) aşağıda nasıl okunacaklarına dair bir örnekle gösterilmiştir.

Kompakt tip devre kesici ve kompakt tip devre kesiciden türetilmiş yük ayırıcı:

Tablo 2

Kaynak tarafı	Versiyon	Icu [kA]	Yük tarafı					
			T1D	T3D	T4D	T5D		
			Icw [kA]	2	3,6	3,6	6	
			Ith [A]	160	250	320	400	630
			Iu [A]	160	250	320	400	630
T1	B	16	160	16	16	16	16	16
	C	25		25	25	25	25	25
	N	36		36	36	36	36	36
T2	N	36	160	36	36	36	36	36
	S	50		50	50	50	50	50
	H	70		70	70	70	70	70
	L	85		85	85	85	85	

Kaynak tarafında T2S160 tipi bir devre kesici ve alt devrede T1D160 tipi bir yük ayırıcı arasındaki vurgulanan kombinasyona göre, ayırıcının korunması 400VAC'de 50kA kısa devre değerine kadar mümkündür.

Kompakt tip devre kesici ve OT ve OETL yük ayırıcı

Tablo 3

Kaynak tarafı	Koruma ünitesi	Yük tarafı	OETL	OETL	OETL
			200	250	315
		Icw [kA]	8	8	8
		Ith [A]	250	315	350
		Iu [A]	250	315	350
T5	TM	320	100*	100*	100*
		400	100*/***	100*	100*
		630			100***
	EL	320-630	100*/**	100*/**	100*/**

Kaynak tarafında T5..400 tipi bir devre kesici ve alt devrede OETL200 tipi bir yük ayırıcı arasındaki vurgulanan kombinasyona göre, ayırıcının korunması 400VAC'de 100kA kısa devre değerine kadar mümkündür.

Tablodaki yıldız işaretleri ile ilgili olarak, aşağıdaki notlar geçerlidir:

* *Devre kesicinin Icu'su ile gösterilen değer arasından düşük değeri seçin*

Örneğin, eğer devre kesici, Icu=36kA @ 400Vac olan bir N versiyonu ise bu, tesisatın maksimum kısa devre akımının 36kA'dan küçük olması gerektiği (N versiyonunu kullanmak için) ve koruma sınırı 100kA olduğundan yük ayırıcının mutlaka korunacağı anlamına gelir. Eğer devre kesici, Icu=200kA @ 400Vac olan bir L versiyonu ise bu, tesisatın maksimum kısa devre akımının 200kA olabileceği ve koruma sınırı 100kA olduğundan yük ayırıcının korunmayacağı anlamına gelir.

*** $I I = 0.7 \times I$

Yük ayırıcının termik korumasına bağlı olan bu nottan, devre kesicinin termik koruması için maksimum ayarın $0.7 \times I_n$ olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzer bir anlam:

** *Aşırı yük eşiğinin maksimum ayarı*

$$PR2_{xx} = 1.28 \cdot I_{th} \cdot OT_{xx} / OETL_{xx}$$

buradan, devre kesicinin aşırı yük koruması için maksimum ayarın, yük ayırıcıya ait akım taşıma kapasitesinin 1.28 katını neden aşmayacağı anlaşılabilir.

3.4 Otomatik devre kesiciler ve kaçak akım cihazları (RCD'ler) arasındaki koordinasyon

Genellikle bir AG tesisatının uç bölümünde kullanılan kaçak akım cihazları, dolaylı temas (normalde gerilim altında olmayan metal parçalarla temas) ve belirli şartlar altında doğrudan temas (normalde gerilim altında olan parçalarla temas) karşı etkili koruma garantisi verir.

Ancak standartlar dikkatlice okunduğunda, elektrik tesisatının, insanların güvenliğini uygun bir topraklama sistemi ile garanti edecek şekilde tasarlanıp inşa edilmesi gerektiğinden, insanların doğrudan ve dolaylı temaslara karşı korunması işlevinin, devre kesicinin uyguladığı yardımcı bir işlev olduğu açıktır.

Bu nedenle, yüklerin metalik çerçeveleri, her durumda tehlikeli temas geriliminden kaçınılması için uygun bir şekilde topraklama sistemine bağlanmalıdır.

Bir tesisatta, genellikle termomanyetik devre kesiciden talep edilen, aşırı yük ve kısa devreye karşı normal korumanın yanı sıra, ayrıca kaçak akım koruması da sağlaması doğru bir kuraldır.

Geniş anlamda, bir tesisteki koruma iki ayrı cihazla (termomanyetik devre kesici ve kaçak akım cihazı) yapılabilir. Bu durumda sadece toprak arıza akımına duyarlı olan RCD, bir aşırı akım nedeniyle tesisatta oluşan termik ve dinamik gerilmelere karşı koruma sağlayan bir devre kesici ile seri olarak kurulmalıdır.

Bir alternatif de, tek bir cihazda koruma işlevlerini birleştiren ve böylece iki cihaz arasında yanlış bir koordinasyondan kaynaklanan muhtemel riskleri önemli ölçüde azaltan termomanyetik kaçak akım devre kesicisidir.

3.5 Örnek bir OG/AG şebekesinin incelenmesi

Aşağıda, şebekenin ana elektrik parametrelerini değerlendirebilmek ve koruma seçiciliğine göre, tesisatın korunması ve doğru şekilde kullanılması adına devre kesicilerin seçilmesi için bir OG/AG tesisatının nasıl analiz edilebileceğine ilişkin bir örnek verilmiştir.

Kurulum karakteristiklerinin açıklanması:

Dağıtım şebekesi:

nominal gerilim $V_{1n}=20\text{kV}$
kısadevre akımı $I_{kMV}=12.5\text{kA}$

Aşağıdaki verilerle birlikte trafo merkezi transformatörü:

primer nominal gerilim: $V_{1n}=20\text{kV}$
sekonder nominal gerilim: $V_{2n}=400\text{V}$
nominal güç: $S_{nTR}=800\text{kVA}$
nominal kısadevre gerilimi: $V_{k\%}=5\%$

Bir kurulum normal olarak farklı yükler için besleme sağlar; bu konunun işlemini basitleştirmek ve sonuçlandırmak için şu yük tipolojileri göz önüne alınmıştır:

aşağıdakilere sahip pasif L yükü:

nominal güç $P_{nL}=300\text{kW}$
güç faktörü $\cos\varphi = 0.8$

aşağıdaki karakteristiklere sahip bir C kablosu ile beslenir:

yapısı $2 \times (3 \times 240)\text{mm}^2$
kablunun akım taşıma kapasitesi $I_z=590\text{A}$
uzunluğu $L_c=15\text{m}$

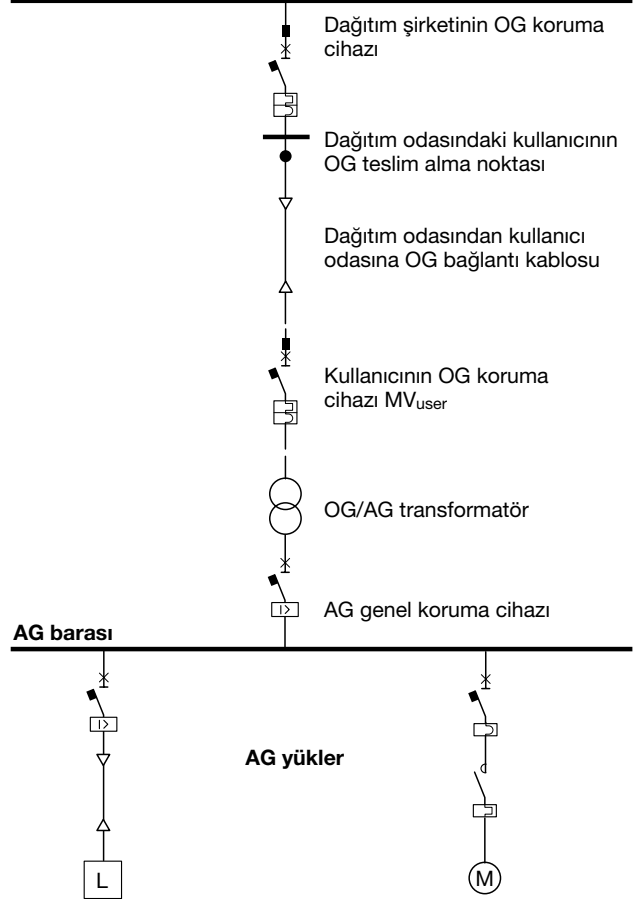
aşağıdakilere sahip aktif bir M yükü (üç fazlı asenkron motor):

nominal güç $P_{nM}=90\text{kW}$
katsayı $\eta \times \cos\varphi = 0.8$
(güç faktörü başına verimlilik)

Analizi yapılan kurulumun şeması:

Şekil 2

Dağıtım şirketinin OG hattı



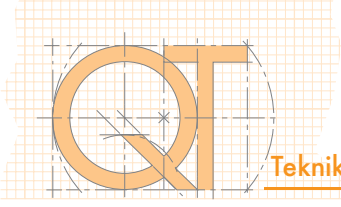
Korumaların açma karakteristiklerini olabildiğince iyi doğrulamak için çalışılan tesisatın farklı bileşenlerinin elektriksel özellikleri burada analiz edilmektedir.

Dağıtım şebekesi:

Güç kaynağından, yani dağıtım şirketinin sahip olduğu ve genellikle iki kademeli bağımsız süreli açma eşikleri ile karakterize edilen kendi OG korumasına sahip 20kV'lik elektrik şebekesinden başlayarak, 20kV'de dağıtım şirketinin korunması için aşağıdaki varsayımsal ancak gerçekçi değerler kabul edilebilir:

	Maksimum akım	
Korumalar	51 (ilk eşik)	50 (ikinci eşik)
Arıza giderme süresi	< 0.5s	< 0.25s
Akım ayar değerleri	< 72A	< 400A

	Sıfır sıralı maksimum akım	
Korumalar	51N (ilk eşik)	
Arıza giderme zamanı	< 0.12s	
Geçerli ayar değerleri	< 4A	



Transformatör:

Her şeyden önce AG tarafında kurulumun elektrik parametrelerini etkileyen ikinci unsur, aşağıdaki akım değerlerine sahip olan 800kVA'lık transformatördür:

- primer nominal akım (20kV tarafı):
$$I_{1n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = \frac{800 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20 \times 1000} = 23.1A$$

- sekonder nominal akım (400V tarafı):
$$I_{2n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} = \frac{800 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 1155A$$

İlk yaklaşım olarak kabul edilebilir sonuç veren ve tesisatta mevcut koruma akımlarının yoğunluğunu ve koruma cihazlarının boyutlandırılmasını değerlendirmeye yarayan pratik ve hızlı formüllerle (örneğin yük tarafındaki OG şebekesinin sonsuz kısa devre gücü olduğu varsayılarak), kısa devre akımları hesaplanabilir.

- sekonder taraftaki üç fazlı kısa devre akımı (400V tarafında)

$$I_{2k3F} = \frac{S_{nTR}}{V_{k\%}} \times 100 \times \frac{1}{\sqrt{3} \times V_{2n}} = \frac{800 \times 1000}{5} \times 100 \times \frac{1}{\sqrt{3} \times 400} = 23kA$$

Simetrik rms değeri olarak ifade edilen bu üç fazlı kısa devre akımına ayrıca $\cos\phi_k=0.35$ olan bir kısa devre güç faktörü ve 43.6kA'ya eşit bir ilgili tepe değeri ilişkilendirilebilir.

- AG tarafında bir arıza nedeniyle OG tarafıyla ilişkili üç fazlı kısa devre akımı

$$I_{1k3F} = \frac{S_{nTR}}{V_{k\%}} \times 100 \times \frac{1}{\sqrt{3} \times V_{1n}} = \frac{800 \times 1000}{5} \times 100 \times \frac{1}{\sqrt{3} \times 20 \times 1000} = 462A$$

veya aşağıdaki ilişki ile hesaplanabilir:
$$I_{1k3F} = \frac{I_{2k3F}}{V_{1n}} \cdot V_{2n} = \frac{23000}{20000} \cdot 400 = 460A$$

Transformatörün işleyişi, mıknatıslanma eğrisi ve termik bakış açısından kabul edilen maksimum kısa devre dayanma kapasitesi vasıtasıyla gösterilebilir.

Transformatörün mıknatıslanma eğrisi aşağıdaki formülden elde edilebilir:

$$i_{inrush} = \frac{k_i \cdot I_{1nTR}}{\sqrt{2}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{inrush}}}, \text{ daha ayrıntılı bilgi için Ek A'ya bakınız.}$$

Termik açıdan dikkate alınan kısa devre dayanma kapasitesi, IEC 60076-5 standardında belirtildiği gibi 2 saniyelik kısa devre akımına dayanabileceği kapasite olarak ifade edilmiştir.

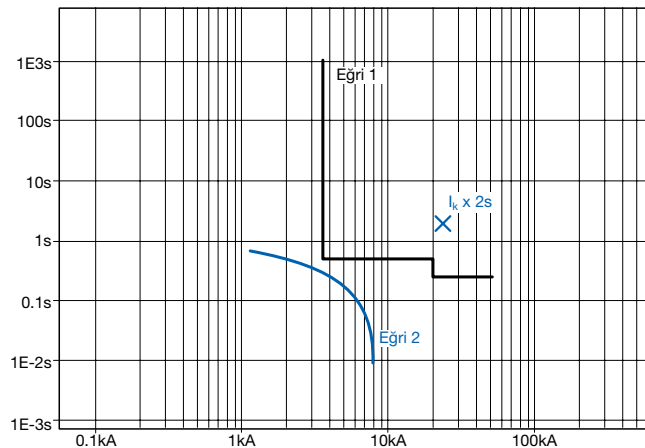
Şekil 3'te zaman/akım diyagramının aşağıdaki eğrilerle temsil edildiği görülmektedir:

Eğri 1: OG aşırı akım korumasının açma eğrisi;

Eğri 2: yukarıda açıklanan transformatörün elektriksel parametrelerinin karakteristik eğrisi.

Tüm eğriler AG tarafının 400V referans geriliminde gösterilmiştir; sonuç olarak, OG tarafının 20kV gerilimi ile ilgili akım değerleri, 20000V/400V dönüşüm oranı ile çarpılmalıdır.

Şekil 3



Pasif yük L

- yükün nominal akımı:

$$I_{nL} = \frac{P_{nL} \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{2n} \times \cos\varphi} = \frac{300 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = 541A$$

Aktif yük M

- motorun nominal akımı:

$$I_{nM} = \frac{P_{nM} \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{2n} \times \eta \times \cos\varphi} = \frac{90 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = 160A$$

- motorun kısa devre akımı:

$$I_{kM} = 4 \times I_{nM} = 4 \times 160 = 640A$$

Bu olgunun büyüklüğü ve sınırlı süresi dikkate alınarak, motor katkısı olmadan hesaplanan kısa devre akımı, baradaki kısa devre akım değeri olarak kullanılacaktır.

Koordinasyonun ve müşterinin yetkinliği altındaki OG ve AG korumalarının seçimi için çalışmaya, dağıtım şirketi tarafından verilen karakteristik ve açma değerlerini analiz ederek başlanabilir (eğri 1). Daha önce de belirtildiği gibi, bu bilgiler çoğunlukla tedarik sözleşmesi anlaşmasında raporlanır ve kullanıcının OG korumasının kaynak tarafına doğru ayarlanması için etki alanını tanımlar.

Yük tarafına doğru, MV_{user} korumasının sınırı, transformatorün miktatsızlanma akımının dalga formu (eğri 2) ile verilir.

MV_{user} koruma cihazının yük tarafında, OG/AG dönüştürme ünitesi kendine has bir odada olacak şekilde kablo uzunluğuna sahip bir kullanıcı tesisatını ele aldığımızda, kullanılabilecek OG korumaları bir maksimum akım koruması (51) ve maksimum pozitif sıralı bir akım korumasından (51 N) oluşabilir.

Kullanıcının OG koruma cihazı (MV_{user})

Kullanıcının OG tarafındaki aşırı akım koruması genellikle iki açma eşiğine sahiptir:

- düşük akımlı olan ve aşırı yük korumasıyla tanımlanabilen, ayrıca $I >$ ile gösterilen
- yüksek akımlı olan ve kısa devre korumasıyla tanımlanabilen, ayrıca $I >>$ ile gösterilen

Her bir eşik için akımların ve zamanların ayar değerleri, mümkün olduğunda, dağıtım şirketinin korumalarından daha düşük bir seviyede ayarlanacaktır. Transformatorün miktatsızlanma eğrisiyle kesişme noktası olmaması için "ayarları çok düşük tutmamak" da önemlidir. Böylece transformatorün kendisi devreye girdiğinde hiçbir açma olmaz ve böylece AG korumalarının açma eğrilerinin konumlandırılması için alan boş kalır.

Bu, MV_{user} 'in korunmasının, kaynak tarafında dağıtım şir-

ketinin koruma eşiğine göre seçici, yük tarafında da genel AG korumasına göre seçici olması gerektiği anlamına gelir ve kendi yetkinliğinin koruma işlevlerini de garanti eder.

Genellikle, daha önce MV_{user} koruması için tanımlanan iki eşiğe aşağıdaki koruma fonksiyonları atanabilir:

- transformatorün aşırı yüklenmesine karşı koruma, eğer hali hazırda AG tarafındaki devre kesici veya termik problemler ile trafo içindeki sıcaklığı kontrol eden termometrik ekipman gibi diğer özel cihazlar tarafından bu koruma sağlanıyorsa, gerekli değildir.
- AG devre kesicinin kaynak tarafındaki transformatorün sekonderindeki kısa devrelere karşı koruma;
- kullanıcıya ait OG tarafındaki kısa devrelere karşı ani açmalı koruma
- dağıtım odasındaki teslim alma noktası ile MV_{user} koruma cihazı arasındaki bağlantıyı oluşturan kablo için aşırı yüke karşı koruma.

Yukarıdaki koşullara uymaya çalışırken, aşağıda MV_{user} koruma cihazında ayarlanacak değerler belirtilmiştir. Seçilen değerler aşağıdaki gibi olabilir ve Şekil 4'teki diyagramda gösterilen eğri 3'ü oluşturur.

düşük akımlı eşik $I >$

65A - 0.4s, 20kV ile ilişkili

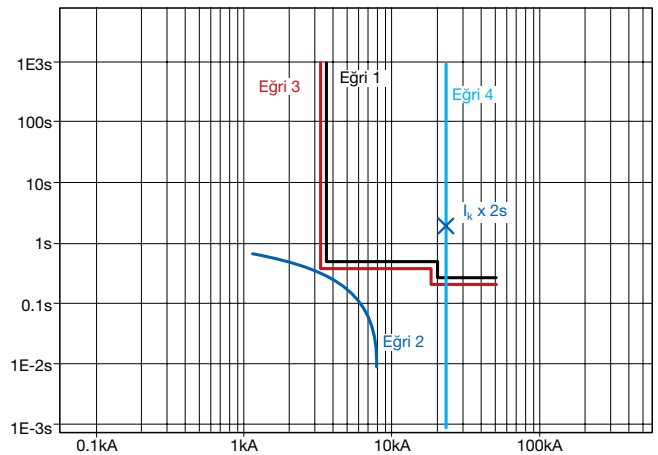
$65 \times 20000 / 400 = 3250A$ 'ya karşılık gelir

yüksek akımlı eşik $I >>$

360A - 0.2s, 20kV ile ilişkili

$360 \times 20000 / 400 = 18kA$ 'ya karşılık gelir

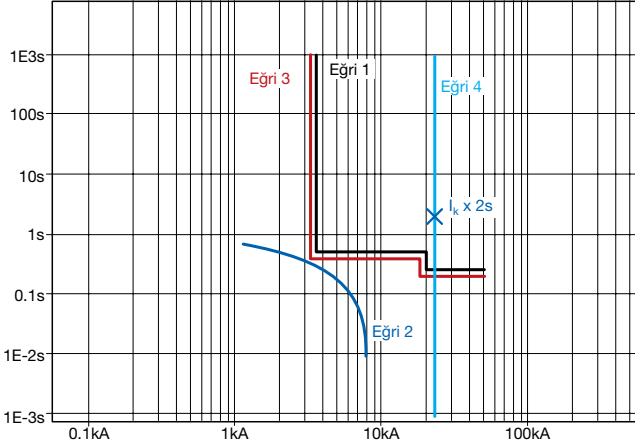
Şekil 4



Koruma cihazlarının eğrilerini ve bunların kısa devre akımlarını ilişkilendirerek Şekil 5'deki diyagram elde edi-

li; burada eğri 4, OG cihazlarını etkileyen AG tarafında bulunan kısa devre akım değerini temsil eder.

Şekil 5



Zaman/akım eğrilerinin seyrinden şu sonuca varılır:

- dağıtım şirketinin (eğri 1) ve kullanıcının (eğri 2) cihazının açma eğrileri, tüm akım aralığıyla ve özellikle sekonder sargı tarafındaki kısa devre akımına karşılık gelenlerle çakışmaz (eğri 4). Bu nedenle, her bir cihaz için tipik olan açma toleransları dikkate alınmaksızın, verilen örnekte iki cihaz arasında seçiciliğin garanti edildiğini belirtmek mümkündür. Herhangi bir seçicilik olmasaydı, iki OG devre kesicisi eşzamanlı olarak açılacak ve dağıtım şirketinin OG devre kesicisi, kapalı kalacak şekilde hızlı kapanarak çalışmayı yeniden başlatacaktı. Çünkü bu arada, arıza, MV_{user} devre kesicisinin açılmasıyla giderilmiş olacaktır.
- her iki OG devre kesicisi de transformatörün mıknatıslanma eğrisi ile kesişmez.

Bu hususlar sayesinde, OG koruma eğrileri doğru ayarlanabilir ve sonrasında AG cihazlarının seçimi ve ayarlanmasına devam edilebilir.

AG genel koruma cihazı

Daha önce tanımlanan kısa devre akım değerleri ($I_{2k3F}=23kA$ $i_p=43.6kA$) ve transformatörün sekonder nominal akımına ($I_{2n}=1155A$) göre, AG genel devre kesici aşağıdaki özelliklere sahip olacaktır:

- AG barasında ($I_{cu}>I_{2k}$) rms kısa devre akımı değerinden daha büyük olan, AG tarafındaki gerilimle ilgili bir kesme kapasitesi (I_{cu});

- AG barasındaki kısa devre akımının tepe değerinden daha yüksek bir kapama kapasitesi (I_{cm}) ($I_{cm}>i_p$);
 - tesisatin maksimum akımı için uygun olan, transformatörün sekonder sargısının nominal akımı ile örtüşen, nominal kesintisiz akım ("lu");
 - uygun ayar yapılarak, kaynak tarafındaki OG koruma aygıtı ve yük tarafındaki yükler için sağlanan devre kesicilerle seçiciliği garanti eden bir boyut.
- Bu şekilde hesaplanan elektriksel parametrelere göre kullanılacak devre kesici, $I_{cu} = 50kA$, $400V$ ve $I_{cm} = 105kA$ olan, kompakt tip Tmax serisi T7S1250 PR332-LSI In1250 devre kesici olabilir.

Pasif L yükü için koruma cihazı

Bu cihazın seçimi aşağıdakilere göre yapılacaktır:

- kurulum noktasındaki kısa devre akım değeri; kablo tarafından gerekli görülen sınırlama önemsiz olduğu için kablunun sınırlamasını göz ardı eden AG barasının kısa devre değeri dikkate alınır. Dolayısıyla $I_{2k3F}=23kA$ ve $I_{cu} > I_{2k3F}$ olacaktır;
- yükün maksimum akımı için uygun, nominal kesintisiz bir akım ("lu");
- doğru ayarlarla kablo koruması elde etmeye izin veren bir boyut:
 - aşırı yüke karşı $I_B \leq I \leq I_Z$
 - kısa devreye karşı $K^2 S^2 \geq I^2 t$

Bu koşullara istinaden seçilen cihaz Tmax serisi kompakt devre kesici T5N630 PR221DS-LS / I In630'dur.

Aktif L yükü için koruma cihazı (motor)

Motorları çalıştırmak için kullanılan cihazların seçimi, farklı faktörlerin doğru bir şekilde analiz edilmesini gerektirir. Bu nedenle ABB SACE, farklı yolverme tipolojilerine ilişkin bazı motor koordinasyon tablolarını son kullanıcının hizmetine sunmuştur.

Bu durumda, normal bir doğrudan yolverme tip 2 varsayarak, $400V$ $35kA$ tablosuna göre kullanılacak cihazlar şunlardır:

devre kesici : T3N250 MA 200 I3=2400A
 kontaktör : A185
 termik röle : TA200DU200

Bu noktada, yükler için devre kesiciler seçildikten sonra, AG ana devre kesicisine yönelik seçiciliğin doğrulanması için daha büyük boyutlu devre kesici dikkate alınır. $400V$ 'deki koordinasyon tablolarını kullanarak (bkz. Tablo 4'te söz konusu durumlarla ilgili özet),

T7S1250 PR332-LSI In1250 - T5N 630 PR221DS-LS / I In630 kombinasyonu, kullanılan devre kesiciler arasında en düşük kesme kapasitesine kadar toplam seçiciliğin ("T" ile gösterilir) garantilenmesini sağlar ve bu değer T5N'in 36 kA'sına eşittir.

Tablo 4

Yük tarafı	Versiyon	Koruma ünitesi	Kaynak tarafı	T6		T7				
				N,S,H,L		S,H,L				
				TM		EL				
				I_u [A]	I_n [A]	800	1250	1600		
T5	N, S, H, L, V	TM	400	320	30	30	T	T	T	
				400	30	30	T	T	T	
				630		30	T	T	T	
		EL		400	320	30	30	T	T	T
					400	30	30	T	T	T
					630			T	T	T

Kesici boyutları belirlendikten sonra uygun ayarları tanımlamak ve yapılan seçimler için bir onay bulmak üzere daha ayrıntılı bir çalışma yapılacaktır.

İlk adım, AG ana devre kesicisinin ayarlarını analiz etmektir. Bu cihazların koruma ayarları aşağıdaki faktörlere göre ayarlanır:

- MV_{user} devre kesicisi için daha önce belirlenen eğri 2'nin seyri;
- transformatörün aşırı yüke karşı korunması;
- devre kesicinin yük tarafına doğru seçicilik arama.

Özellikle, b) noktasına atfen, aşağıdaki şartlara uyulacaktır:

- 2 saniyeden daha kısa süreli bir kısa devre akımına karşılık gelen açma (transformatörün kısa devreye dayanacak termik yeteneği);
- aşırı yüke karşı koruma uyarı, IEC60947-2 standardının devre kesici için aşırı yük koşulları altında açma karakteristiği olarak aşağıdaki davranışları öngördüğü dikkate alınmalıdır:
 - soğuk halden, $1.05 \times I_1$ 'e eşit akım değerleri için (I_1 , koruma üstünde ayarlanan akımdır) konvansiyonel süreden daha kısa bir zamanda (2 saat) "açma yapmama" garantisi edilecektir.
 - sıcak halden, $1.3 \times I_1$ 'e eşit akım değerleri için konvansiyonel süreden daha kısa bir zamanda (2 saat) "açma yapma" garantisi edilecektir.

- I_1 'in 1.05 ve 1.3 katı arasında olan akım değerleri için, ürün standardı, normalde devre kesicinin açma işlemi, zaman tam olarak bilinmeden meydana gelse dahi, devre kesici için kesin bir davranış öngörmez.

Ürün standardı tarafından kabul edilen bu davranışa göre, eğer koruma ünitesindeki koruma transformatörün $I_1 = I_{2n}$ şeklindeki bir değerine sahipse, durum aşağıdaki gibi olacaktır:

- $I < 1.05 \times I_1$: transformatör için %5 aşırı yüklenme ile birlikte açma-yapmama garantisi verilir;
- $1.05 \times I_1 < I < 1.3 \times I_1$: açma süresi tanımlanmamıştır ve dolayısıyla en kötü hipotezde transformatör 2 saat boyunca %30'a kadar aşırı yüklenmeye maruz kalabilir (devre kesici genellikle çok daha kısa sürelerde açma yapsa bile);
- $I > 1.3 \times I_1$: karakteristik eğrinin zamanlarına uygun olarak korumanın açma yapması garanti edilir.

Madde "c" ile ilgili olarak, daha önce belirlenen seçicilik değerini elde etmek için ani kısa devreye (I_3) karşı koruma işlevinin KAPALI olarak ayarlanması gerekir.

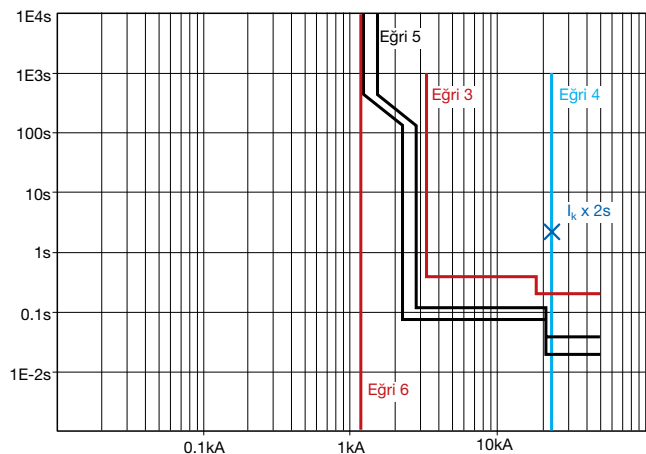
Bu hususlara dayanarak, Şekil 6, eğri 5'in ve eğri 3'ün nasıl seçici olduğunu gösteren zaman/akım diyagramını belirtir. Bu diyagramda AG ana devre kesicisinde varsayılanlar şunlardır:

$$L \text{ (aşırı yük; koruma I1-t1):} \quad I_1 = 0.925 \times I_n = 1156.25A \quad t_1 = 18s$$

$$S \text{ (gecikmeli kısa devre; koruma I2-t2):} \quad I_2 = 2 \times I_n = 2500A \quad t_2 = 0.1s$$

$$I \text{ (Ani kısa devre; koruma I3):} \quad \text{KAPALI}$$

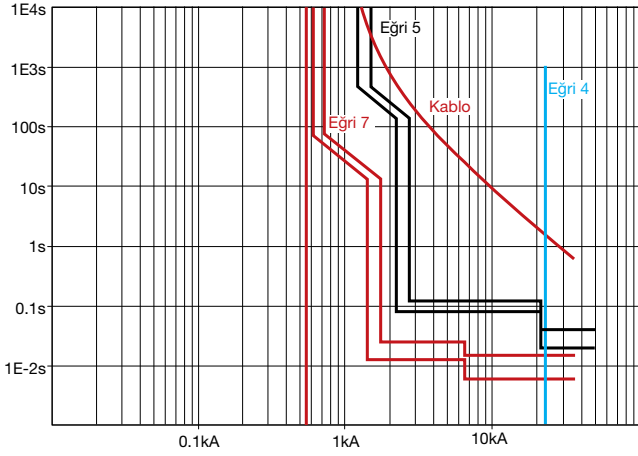
Şekil 6



AG ana cihazının açma eğrisi tanımlandıktan sonra, pasif yükün devre kesicisi için olası ayarlar analiz edilir. Daha önce de belirtildiği gibi, ilgili kablunun koruması doğrulanmalı ve AG ana cihazıyla kesişme olmamalıdır.

Bu hususlara dayanarak, Şekil 7, kablo eğrisinin ilgili devre kesicinin 7 numaralı eğrisi üzerinde olduğunu ve iki AG cihazının eğrileri arasında kesişme noktası olmadığı sonucunu veren zaman/akım diyagramını göstermektedir.

Şekil 7



Bu diyagramda, yük devre kesicisi için varsayılan ayarlar şunlardır:

- L (aşırı yük; koruma I1-t1):
 $0.88 \times I_n = 554.4A$ Eğri: 3s
- S (gecikmeli kısa devre; koruma I2-t2):
 mevcut değil
- I (Ani kısa devre; koruma I3):
 $2.5 \times I_n = 1575A$

Toprak hatasına karşı korumalar

Şimdi toprak arızalarına karşı koruma analizi yapılacaktır. Transformatör yıldız noktasında herhangi bir toprak hatası koruması olmadığında, transformatörün OG tarafındaki aşırı akım koruması, AG ana devre kesicisinin kaynak tarafındaki sekonderdeki faz-toprak hatalarına karşı koruma gereksinimlerini de karşılar.

$\Delta/Y_{\text{—}}$ bağlantısına sahip tipik bir transformatörde, transformatörün yük tarafındaki bir kurulum alanındaki AG tarafında meydana gelen bir faz-toprak arızası, OG primer tarafında, sekonder taraftaki üç fazlı arıza için hesaplanan değerden $\sqrt{3}$ kat daha düşük olan bir akıma neden olur.

Eğer hatanın, AG koruma cihazının kaynak tarafında olduğu varsayılırsa, koruma bobininin akım eşliğinin ayarının, böyle bir arıza nedeniyle MV_{user} korumasının açılabilmesi için yeterli bir değere sahip olması gerekir.

Bu hususlara uygun olarak, daha önce hesaplanan AG tarafı üç fazlı kısa devre değerine uygun olarak, OG tarafında devre kesiciyi etkileyen AG tarafıyla ilgili hata akımını belirlemek mümkündür:

$$I_{2KF-PE} = \frac{I_{2k} \times 1000}{\sqrt{3}} = \frac{23 \times 1000}{\sqrt{3}} = 13.28kA$$

MV_{user} koruma cihazının 400 V ile ilgili ilk eşığı 3250A olarak ayarlandığından, korumanın AG tarafındaki bir faz-toprak arızası nedeniyle açma yapabileceği anlamına gelir.

OG tarafına göre, dönüşüm oranı üzerinden sonuç:

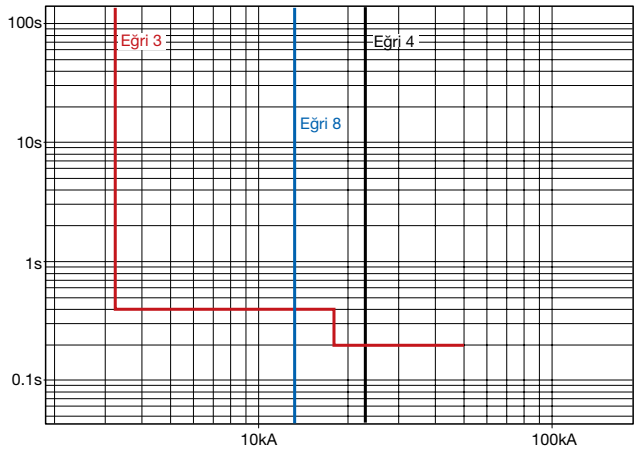
$$I_{1kF-PE} = \frac{I_{2kF-PE}}{k} = \frac{13280}{50} = 265.6A$$

Bu, 65A'da ayarlanmış OG devre kesicisinin ilk koruma eşığıyla karşılaştırılmalıdır.

Şekil 8'de gösterilen diyagram aşağıdakileri temsil etmektedir:

- eğri 4, AG tarafındaki üç fazlı kısa değeri;
- eğri 8, OG devre kesiciyi etkileyen AG akımıyla ilgili akım değeri (eğri 4 değeri, $\sqrt{3}$ ile indirgenmiş);
- eğri 3, açma sürelerinin türetilebileceği, AG tarafı ile ilgili MV_{user} koruma cihazına ilişkin eğri.

Şekil 8

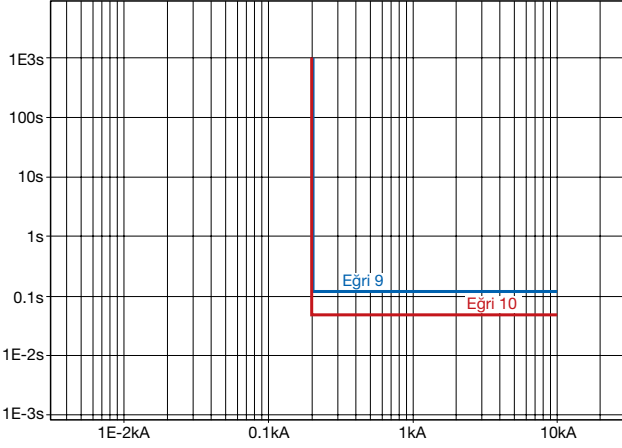


Sıfır sıralı koruma mevcutsa, açma eşiği, elektrik dağıtım şirketi tarafından tanımlanan ve elektrik bağlantı anlaşmasında beyan edilen 51N eşik değerinden daha düşük olmalıdır.

Bu değer 4A 0.12s'de sabitlenmiştir; bu nedenle, MV_{user} cihazının açma karakteristiği şu değerlerde ayarlanabilir: 4A 0.05s.

Böylece, Şekil 9'daki diyagramda gösterilen açma eğrileri elde edilir. Bu diyagram, 400V'luk bir gerilime göre dir. Özellikle eğri 9, dağıtım şirketi tarafından belirlenen eşiği ve eğri 10, pozitif sıralı açma eşiğini göstermektedir.

Şekil 9



Açıktır ki, iki korumanın davranışı, dağıtım şirketi tarafından verilen toprak hata akımı referans alınarak incelenecektir. Bu değer, nötrün direnç/bobin üzerinden topraklanıp topraklanmadığı veya izole edilip edilmediği gerçeğine göre önemli derecede değişir, ancak, dağıtım şirketinin belirlediği koruma eşiğinden daha yüksek olacaktır.

Nötrün durumu değişmişse, tek fazlı toprak hatasını tespit etmek için hatlarda halen kullanılmakta olan koruma yöntemlerinin revize edilmesi gerekecektir.

Halihazırda kullanılan yönlü toprak koruması, hata sırasında ortaya çıkan elektriksel parametrelerin (sıfır sıralı gerilim ve akımı) modülünü ve fazını işler:

- sıfır sıralı gerilim (toprağa göre transformatör yıldız noktasının gerilimi), üç fazlı gerilimlerin toplamının ölçüldüğü uçlarda, açık üçgen bağlantılı sekonder sargılara sahip faz gerilim transformatörü vasıtasıyla tespit edilir;
- üç fazlı akımların toplamını ölçen bir toroidal akım transformatörü vasıtasıyla tespit edilen, hattın sıfır sıralı akımı.

İzole edilmiş nötr şebekede kullanılan bu koruma, bir empedans üzerinden topraklanmış nötre sahip bir şebekede çalışmaz. Bu tür ağlarda iki ayrı ayar eşiğine sahip yönlü korumalar (67) kullanılmalıdır:

- ilki, şebeke bir empedansla topraklanmış nötr ile yönetildiğinde hatayı tespit eder
- ikincisi, şebeke nötr izolasyonlu olarak yönetildiğinde hatayı tespit eder (hata veya bakım işlemleri sırasında yıl boyu kısa süreli olarak meydana gelir).

Ek A

Transformatör ani akımının hesaplanması

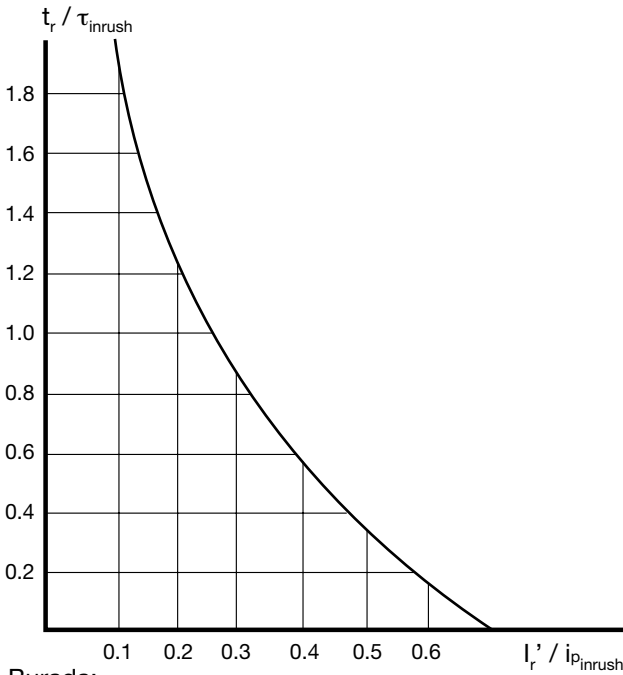
Burada, bir trafonun mıknatıslanma akımının değerlendirilmesi ile ilgili bazı hususlar verilmiştir.

Bir OG/AG kurulumunun normal yerleşiminde, aşağıda tarif edilen olgu, transformatörün devreye sokulması sırasında meydana gelir ve OG tarafındaki koruma cihazını

içerir.

Aşağıdaki Tablo 1 ve 2'de gösterilen verileri kullanarak ve Şekil 1'deki diyagram yardımıyla, transformatörün kaynak tarafında istenmeyen açmalardan kaçınmak üzere gereken minimum gecikme süresini tanımlamak için yaklaşık bir yöntem gösterilmektedir.

Şekil 1



Burada:

- S_{nTR} transformatörün nominal gücü;
- i_{p_inrush} transformatörün ani akımı;
- I_{1nTR} transformatörün primer nominal akımı;
- t_{inrush} transformatörün ani akım zaman sabiti.

Tablo 1: Yağlı tip transformatör

S_{nTR} [kVA]	$k_i = \frac{i_{p_inrush}}{I_{1nTR}}$	τ_{inrush} [s]
50	15	0.10
100	14	0.15
160	12	0.20
250	12	0.22
400	12	0.25
630	11	0.30
1000	10	0.35
1600	9	0.40
2000	8	0.45

Tablo 2: Dökme reçineli kuru tip transformatör

S_{nTR} [kVA]	$k_i = \frac{i_{p_inrush}}{I_{1nTR}}$	τ_{inrush} [s]
200	10.5	0.15
250	10.5	0.18
315	10	0.2
400-500	10	0.25
630	10	0.26
800-1000	10	0.3
1250	10	0.35
1600	10	0.4
2000	9.5	0.4

Şekil 1'deki diyagram, genel korumanın muhtemel açma aralığını (eğrinin solundaki) açmamayı sağlayandan (eğrinin sağındaki) ayıran eğriyi göstermektedir.

t_r = gecikme süresi ayarı

I_r' = ayar eşiği (primer değer)

Örnek:

Örneğin, nominal gücü $S_{nTR}=630\text{kVA}$ ve primer nominal gerilimi $V_{1n}=10\text{kV}$ olan yağlı tip bir transformatör düşünlüğünde, primer nominal akımın hesaplanması $I_{1nTR} = 36.4\text{A}$ değerini verir.

Transformatörün nominal gücü S_{nTR} 'ye göre, $k_i = 11$ ve $\tau_{inrush} = 0.30\text{s}$ değerlerine karşılık gelen değerler tabloda okunabilir.

k_i tanımından, ani akımın maksimum değeri $i_{p_{inrush}} = 36.4 \cdot 11 = 400\text{A}$ olarak elde edilebilir $I_r' = 40\text{A}$ primer koruma için bir ayar eşiği varsayarak, sonuç:

$$\frac{I_r'}{i_{p_{inrush}}} = \frac{40}{400} = 0.1$$

eğriye karşılık gelen değer

$$\frac{t_r}{\tau_{inrush}} = 1.82$$

buradan çıkan sonuç: $t_r = 1.82 \cdot 0.30 = 0.546\text{s}$

istenmeyen açmalardan kaçınmak için OG korumasının minimum gecikmesini gösterir.

Mıknatıslanma akımı olgusunun doğrulaması, bir AG/AG transformatörü için de yapılmalıdır ve bu durumda AG devre kesici söz konusu olur.

Yukarıdaki hususlar göz ardı edilebilir ve aşağıdaki formül kullanılarak mıknatıslanma akımının eğrisinin izlenmesi mümkündür; bu da mıknatıslanma eğrisinin ve AG devre kesicisinin koruma eğrisinin etkileşime girme şeklinin daha doğrudan yorumlanmasını sağlar:

$$i_{inrush} = \frac{k_i \cdot I_{1nTR}}{\sqrt{2}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{inrush}}}$$

Üretici tarafından açıkça belirtilmediğinde, formülde ifade edilen çeşitli değerler, daha önce Tablo 1 ve 2'de belirtilen değerlerle ilişkilendirilebilir.

Çeşitli parametreler aynı anlama sahiptir.

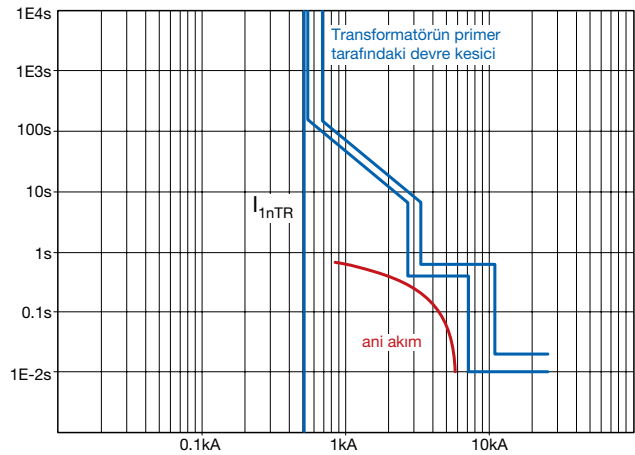
Sıradan bir AG/AG transformatörü ve kaynak tarafındaki ilgili AG devre kesicisi dikkate alınır.

Tanımlanan nominal güce sahip bir transformatöre karşılık gelen, önceden verilen parametrelere referansla, bu formül, Şekil 2'deki diyagramda gösterilen mıknatıslanma eğrisinin gösterilmesini sağlar.

Aynı diyagram transformatörün kaynak tarafındaki devre kesicinin açma eğrisini de gösterir.

Manyetik koruma ayarının ("S" ve "I" fonksiyonu) mıknatıslanma eğrisiyle nasıl kesişmemesi gerektiği ve primer transformatörün nominal akımına göre "L" koruma fonksiyonunun nasıl ayarlandığı vurgulanmaktadır.

Şekil 2



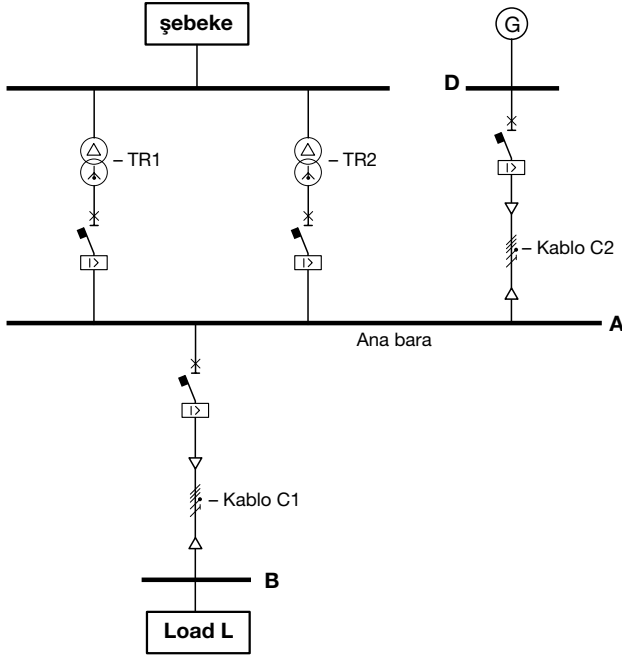
Ek B

Kısa devre akımının hesaplanmasına örnek

Kısa devre akımlarının incelenmesi, tesis mühendislerinin karşılaşması gereken klasik problemlerden biridir. Bu tür akımların değerleri hakkında bilgi, hatların, transformatörlerin ve en önemlisi tüm koruma cihazlarının uygun boyutlandırılması için esastır.

Eğer amaç, elektromanyetik ve elektromekanik transientleri hesaba katan doğru bir analiz değilse, kısa devre akımlarının incelenmesi kavramsal bir bakış açısından oldukça kolaydır, çünkü derinlemesine anlaşılıp doğru bir şekilde kullanılması gereken birkaç kavrama dayanır. Fakat bu çalışma, özellikle şebeke olağanüstü boyutlara sahip olduğunda veya örgüsel şebekeler ve asimetrik arızalar ele alındığında, hesaplama açısından daha karmaşık olabilir. Aşağıda, ilk olarak simetrik bileşenler teorisine dayanan kesin bir yöntem, sonrasında "güç metodu" denilen yaklaşık bir yöntem kullanarak elektrik şebekesinde kısa devre akımı hesaplamaya ilişkin bir örnek gösterilmektedir.

Şekil 1



Tesis verileri

Aşağıda, şebekedeki nesnelere elektriksel verileri tanımlanmıştır:

Besleme şebekesi (net)

$V_{1n} = 20$ kV nominal gerilim
 $f = 50$ Hz nominal frekans
 $S_k = 750$ MVA besleme şebekesinin nominal gücü
 $\cos\phi_k = 0.2$ kısa devre koşulları altında güç faktörü

Transformatör TR1-TR2

$V_{1n} = 20$ kV primer nominal gerilim
 $V_{2n} = 400$ V sekonder nominal gerilim
 $S_n = 1600$ kVA nominal güç
 $v_{k\%} = \%6$ kısa devre koşullarında yüzde cinsinden gerilim düşümü
 $p_{k\%} = \%1$ yüzde cinsinden nominal kayıplar

Jeneratör G

$V_{2n} = 400$ V nominal gerilim
 $S_n = 1250$ kVA nominal görünür güç
 $\cos n\phi_n$ nominal güç faktörü
 $x''_{d\%} = \%14$ yüzde cinsinden alt geçici reaktans, doğru eksen
 $x''_{q\%} = \%20$ yüzde cinsinden alt geçici reaktans, karesel eksen
 $x'_{d\%} = \%50$ yüzde cinsinden senkron geçici reaktans
 $x_{d\%} = \%500$ yüzde cinsinden senkron reaktans
 $x_{2\%} = \%17$ yüzde cinsinden negatif sıralı kısa devre reaktansı
 $x_{0\%} = \%9$ yüzde cinsinden sıfır sıralı reaktans
 $T''_d = 40$ ms alt geçici zaman sabiti
 $T'_d = 600$ ms geçici zaman sabiti
 $T_a = 60$ ms armatür zaman sabiti (tek yönlü bileşeninki)

Kablo C1

Uzunluk $L = 50$ m
Yapısı: $3 \times (2 \times 185) + (2 \times 95) + G185$
 $R_{F1} = 2.477$ m Ω faz direnci
 $X_{F1} = 1.850$ m Ω faz reaktansı
 $R_{n1} = 4.825$ m Ω nötr direnç
 $X_{n1} = 1.875$ m Ω nötr reaktans
 $R_{PE1} = 4.656$ m Ω PE direnci
 $X_{PE1} = 1.850$ m Ω PE reaktansı

Kablo C2

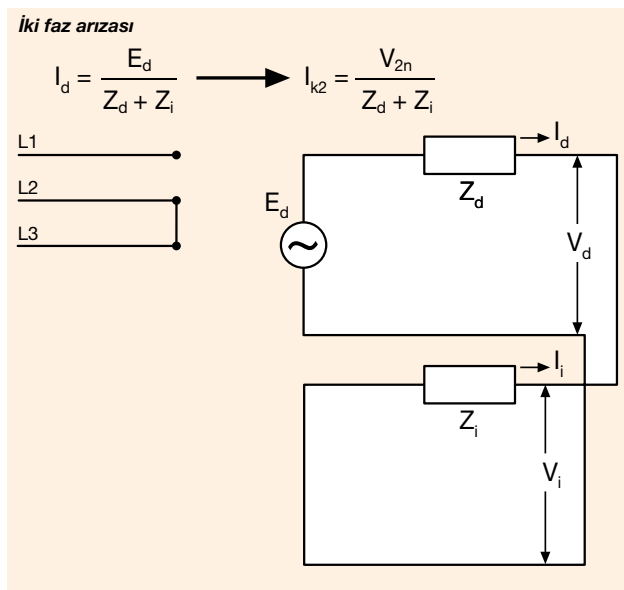
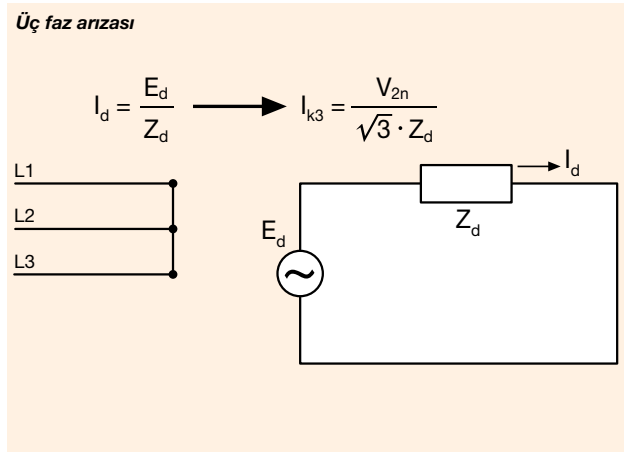
Uzunluk $L = 15$ m
Yapısı: $3 \times (2 \times 500) + (2 \times 300) + G500$
 $R_{F2} = 0.2745$ m Ω faz direnci
 $X_{F2} = 1.162$ m Ω faz reaktansı
 $R_{n2} = 0.451$ m Ω nötr direnç
 $X_{n2} = 1.177$ m Ω nötr reaktans
 $R_{PE2} = 0.517$ m Ω PE direnci
 $X_{PE2} = 1.162$ m Ω PE reaktansı

B1 Simetrik bileşenler yöntemi

Bu yöntem, üç vektörün herhangi bir grubunun üç vektör grubuna dönüştürülebileceği prensibine dayanmaktadır:

- 120 ° kaydırılmış ve orijinal sistemle aynı faz sırasına sahip olan eşit büyüklükteki üç vektör tarafından oluşturulan dengeli bir pozitif sıralı grup;
- 120 ° kaydırılmış ve orijinal sistemle ters faz sırasına sahip olan eşit büyüklükteki üç vektör tarafından oluşturulan dengeli bir ters sıra grubu;
- eşit büyüklükteki üç vektörün oluşturduğu sıfır sıralı bir grup.

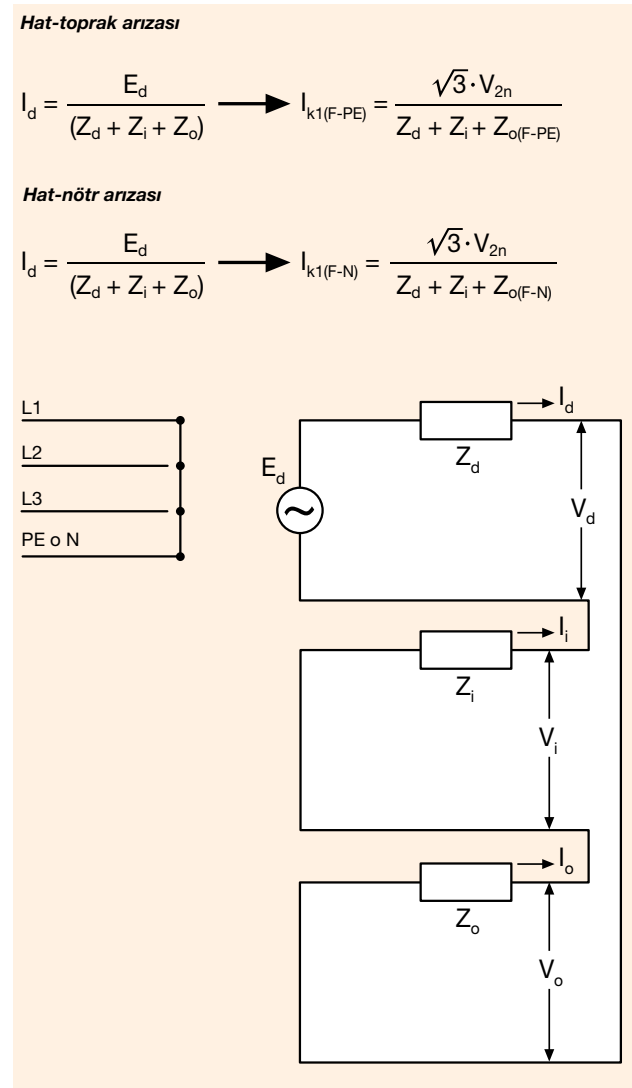
Bu ilkeye dayalı olarak, genel bir asimetrik ve dengesiz üç fazlı sistem, sırasıyla pozitif, negatif ve sıfır sırasına karşılık gelen üç tek fazlı eşdeğer devrenin ayrı çalışmasına indirgenebilir.

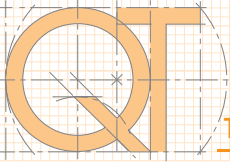


Şebeke bileşenlerini bu sıra için eşdeğer devrelerle değiştirerek sıra empedansları bulunabilir. Pozitif ve negatif sıralarla ilgili olarak, eşdeğer devreler tesisatta döner makineler bulunmadığı zamanlarda farklılık göstermezken, döner makineler (asenكرون motorlar ve senkron jeneratörler) olduğunda eşdeğer empedanslar - pozitif ve negatif sıra - oldukça farklıdır. Sıfır sırasının empedansı da önceki dizilerden oldukça farklıdır ve nötrün durumuna bağlıdır.

Teorik bir işlemin detaylarına girmeden, pozitif, negatif ve sıfır sıralı devrelerin üç fazlı arızayı, iki fazlı arızayı, hat-toprak arızasını ve arıza akımının hesaplanması için ilgili formülleri nasıl gösterdiklerini aşağıda sunduk.

Bu gösterim, işlemi tam olarak anlamanız için yararlı olabilir.





Şekil 1'de tek hat şeması ile gösterilen kurulum tipolojisi, basitleştirme adına benzersiz bir genel çıkış besleyicisinin bulunduğu bir genel endüstriyel tesisin önemli bir parçası olabilir. Olası motorların kısa devre akımına katkısını göz önüne almamak suretiyle sadece pasif yük dikkate alınmıştır (koşula uygun: $\sum I_{nm} \leq I_k/100$ IEC 60909 standardı ile belirtilmiştir; burada , çeşitli motorların anma akımı ve I_k ise motor katkısı olmaksızın baradaki ilk simetrik kısa devre akımıdır).

Arıza akımlarının hesaplanması için sıra şebekelerinde kullanılacak empedans değerleri yukarıdaki verilerden türetilir. Alt simgeler aşağıdaki anlamlara sahiptir:

- d pozitif sıra bileşeni;
- i negatif sıra bileşeni;
- o sıfır sıra bileşeni.

Besleme şebekesi

400 V ile ilgili şebeke empedansının pozitif ve negatif sıra parametreleri şunlardır:

$$Z_{dnet} = Z_{inet} = \frac{V_{2n}^2}{S_k} = 2.133 \cdot 10^{-4} \Omega$$
$$R_{dnet} = R_{inet} = Z_{dnet} \cdot \cos\varphi_k = 4.266 \cdot 10^{-5} \Omega$$
$$X_{dnet} = X_{inet} = Z_{dnet} \cdot \sin\varphi_k = 2.090 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Transformatörlerin üçgen sargıları, sıfır-sıra bileşenini bloke ettiğinden, beslemenin sıfır-sıralı empedansı dikkate alınmaz.

Transformatör TR1-TR2

Bir dağıtım sisteminin AG tarafının TN-S tipinde olmasına izin veren klasik tipteki üçgen/yıldız topraklı bir transformatör ($\Delta/Y_{\underline{\underline{0}}}$), dikkate alınmıştır.

Çeşitli sıraların empedansları (o-d-i) aynı değeri alır:

$$Z_{dTR} = Z_{iTR} = Z_{oTR} = \frac{V_{k\%}}{100} \cdot \frac{V_{2n}^2}{S_n} = 0.006 \Omega$$
$$R_{TR} = \frac{p_{k\%}}{100} \cdot \frac{V_{2n}^2}{S_n} = 0.001 \Omega$$
$$X_{TR} = \sqrt{Z_{dTR}^2 - R_{dTR}^2} = 5.916 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Jeneratör G

Bu örnekte, jeneratör için sadece en büyük kısa devre akım değerini belirleyen alt-geçici reaktans değeri dikkate alınır.

o-d-i sırasının empedanslarının ifadesinin reel kısmı:

$$R_G = \frac{X_d''}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_a} = 9.507 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Pozitif sıralı empedans ifadesinin imajiner kısmı:

$$X_d'' = \frac{x_d'' \%}{100} \cdot \frac{V_{2n}^2}{S_n} = 0.018 \Omega$$

Negatif sıralı empedans ifadesinin imajiner kısmı:

$$X_2 = \frac{x_2 \%}{100} \cdot \frac{V_{2n}^2}{S_n} = 0.022 \Omega$$

X_2 , üretici tarafından verilen veriler arasındaki bir makine parametresidir.

Alternatif olarak, negatif sıralı empedansın imajiner kısmı, alt geçici pozitif sıralı reaktans ile dikevreli reaktans arasındaki ortalama değer olarak hesaplanabilir:

$$X_i = \frac{X_d'' + X_q''}{2}$$

Sıfır sıralı empedans ifadesinin imajiner kısmı:

$$X_o = \frac{x_o \%}{100} \cdot \frac{V_{2n}^2}{S_n} = 0.0115 \Omega$$

Bu nedenle:

$$Z_{dG} = R_G + i \cdot X_d'' \quad Z_{iG} = R_G + i \cdot X_2 \quad Z_{oG} = R_G + i \cdot X_o$$

Kablo C1-C2

$$Z_{dC..} = Z_{iC..} = R_{F..} + i \cdot X_F$$

$$Z_{o(F-N)C..} = (R_{F..} + 3 \cdot R_{N..}) + i \cdot (X_{F..} + 3 \cdot X_{N..})$$

faz-nötr arızası sebebiyle oluşan sıfır sıralı empedans

$$Z_{o(F-PE)C..} = (R_{F..} + 3 \cdot R_{PE..}) + i \cdot (X_{F..} + 3 \cdot X_{PE..})$$

faz-toprak arızası sebebiyle oluşan sıfır sıralı empedans

Farklı tesis bileşenlerinin tüm sıra empedanslarını tanımladıktan sonra, çeşitli arıza durumlarının analizi yapılabilir.

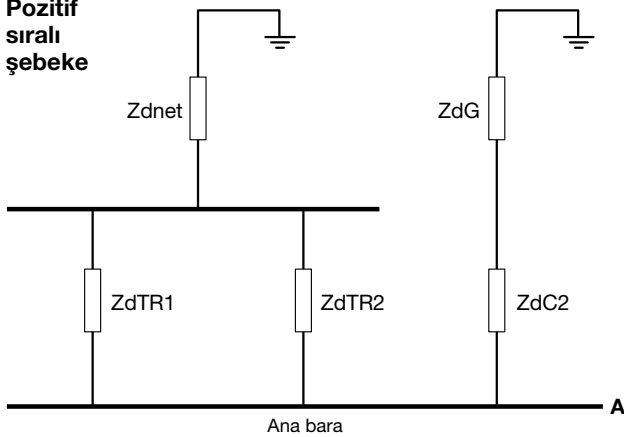
Şekil 1'deki şebeke şemasına atıfta bulunarak, arızanın varsayıldığı ve farklı arıza tipleri için akım değerlerinin hesaplandığı üç nokta, A-B-D noktası vurgulanmıştır.

Yine, Şekil 1'de gösterilen şebekeye göre, seri veya paralel empedanslı sıra şebekeleri, arıza noktasında bulunan ve besleme kaynağına bakan hayali bir gözlemcinin görme şekline göre çizilir.

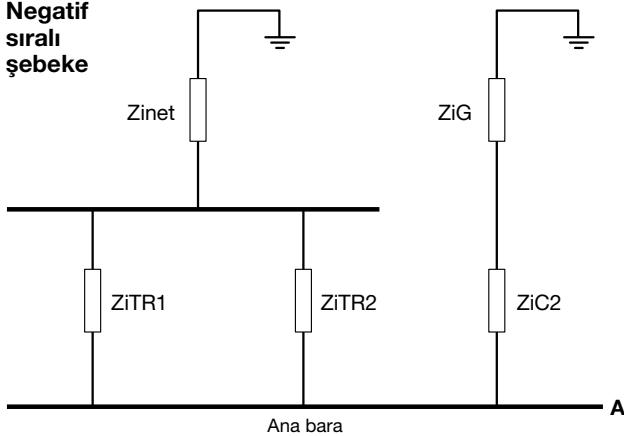
A'daki Arıza

Yukarıdaki hususlara dayanarak A noktasındaki bir arıza için aşağıdaki sıralı şebekeler çizilebilir.

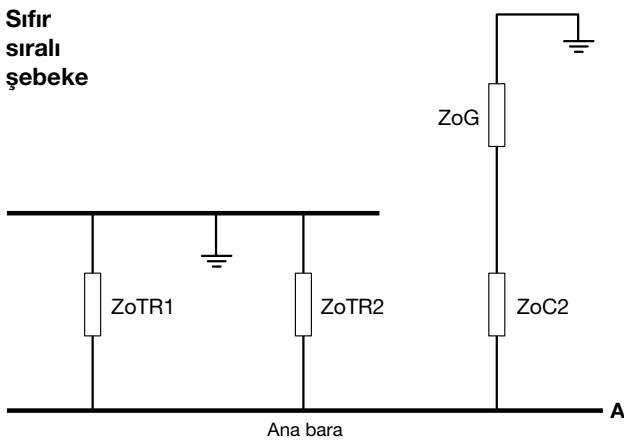
Pozitif sıralı şebeke



Negatif sıralı şebeke



Sıfır sıralı şebeke



Üç sıra şebekesini tanımladıktan sonra, farklı arıza tipleri için kısa devre akımlarının hesabı yapılabilir:

Üç fazlı arıza

Üç fazlı arıza simetrik bir arıza olduğu için, pozitif sıralı şebekenin sadece eşdeğer empedansı dikkate alınacak ve akımların hesaplanması için formülle ifade edilenler ile de uyumlu olacaktır.

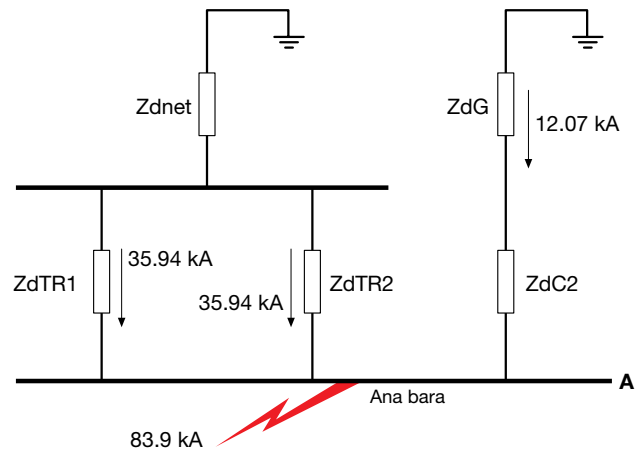
Bu nedenle, pozitif sıralı şebekenin indirgenmesiyle elde edilen eşdeğer empedans:

$$Z_{dEq,A} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) = 4.237 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0027 \Omega$$

[“||” işareti “paralel” anlamına gelir] ve üç fazlı arıza akım değeri aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$I_{k3A} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{dEq,A}} = 83.9 \cdot 10^{-3} \angle -81.15^\circ \text{ A}$$

Akım bölücü kuralını kullanarak, tekli elektrikli makinelerin (jeneratör ve transformatör) ana bara üzerindeki kısa devre akımına katkıları belirlenebilir. Özellikle, katkılar aşağıdaki gibi bölümlere ayrılmıştır:



İki fazlı arıza

Bu durumda, hata üç fazın yalnızca ikisini etkiler; sonuç olarak, sadece pozitif sıralı şebekenin eşdeğer empedansını değil aynı zamanda arıza akımı formülünde gösterildiği gibi A arıza noktasından görülen negatif sıralı şebeke değerini de değerlendirmek gerekir.

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,A} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) = 4.237 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0027 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{iEq,A} = ((Z_{iTR1} \parallel Z_{iTR2}) + Z_{inet}) \parallel (Z_{iG} + Z_{iC2}) = 4.367 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0028 \Omega$$

Bu nedenle, iki fazlı arıza akım değeri eşittir:

$$I_{k2A} = \frac{V_{2n}}{Z_{dEq,A} + Z_{iEq,A}} = 71.77 \cdot 10^{-3} \angle -81.12^\circ \text{ A}$$

Tek fazlı arıza

Tek fazlı arıza açısından, aşağıdakiler arasında bir ayrım yapılmalıdır:

- toprağa gidip koruma iletkeninden geri dönen, TN-S tipi dağıtım sistemi oluşturan tek fazlı arıza
- hattan nötre geçip, nötr iletken üzerinden geri dönen arıza

Arıza akımının hesaplanması için kullanılan formüllerde ifade edildiği gibi, üç sıralı devrenin katkısını dikkate almak gerekir.

Bu amaca yönelik olarak, sıfır-sıralı şebekenin, transformatör sargılarının tipolojisinden kuvvetle etkilenmesi nedeniyle, diğer sıra şebekelerinden topolojik olarak nasıl farklı olduğuna dikkat edilmelidir.

Ayrıca, kabloların sıfır sıralı empedanslarının değerleri tek fazlı arıza türüne (F-N veya F-PE) bağlıdır.

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,A} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) = 4.237 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0027 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{IEq,A} = ((Z_{ITR1} \parallel Z_{ITR2}) + Z_{inet}) \parallel (Z_{IG} + Z_{IC2}) = 4.367 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0028 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-nötr:

$$Z_{o(F-N)Eq,A} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) \parallel (Z_{oG} + Z_{o(F-N)C2})) = 4.189 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0025 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-toprak:

$$Z_{o(F-PE)Eq,A} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) \parallel (Z_{oG} + Z_{o(F-PE)C2})) = 4.237 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0025 \Omega$$

Arıza akımının hat-nötr değeri ise eşittir:

$$I_{k1(F-N)A} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,A} + Z_{IEq,A} + Z_{o(F-N)Eq,A}} = 85.43 \cdot 10^{-3} \angle -80.92^\circ \text{ A}$$

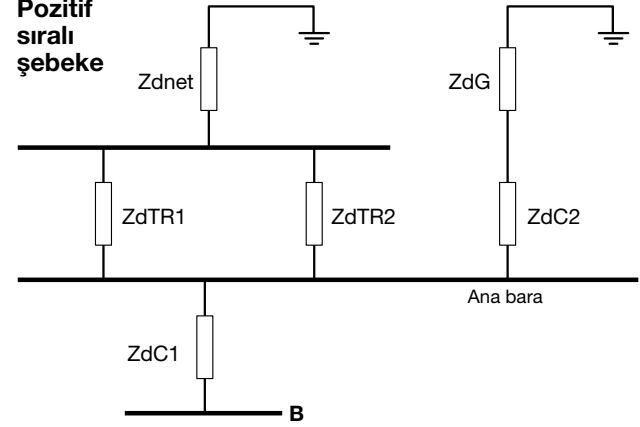
Arıza akımının hat-toprak değeri eşittir:

$$I_{k1(F-PE)A} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,A} + Z_{IEq,A} + Z_{o(F-PE)Eq,A}} = 85.43 \cdot 10^{-3} \angle -80.89^\circ \text{ A}$$

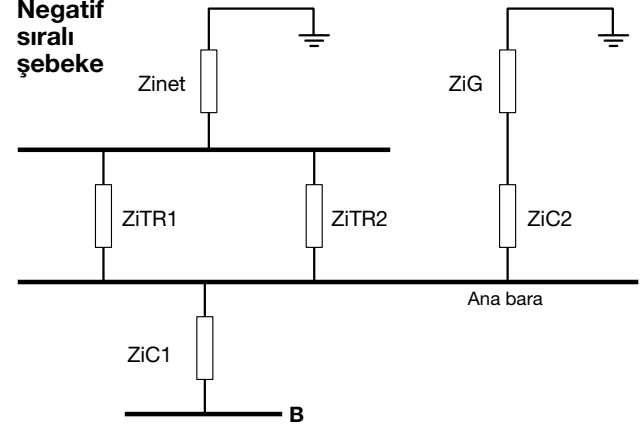
B'de Arıza

A noktasındaki arıza için tanımlananlarla uyumlu olarak, üç sıra şebekesi, B noktasından görülen empedansları dikkate alarak çizilir. Bu yeni durumda açıkça görüldüğü üzere, C1 kablosu sıra devrelerinde de düşünülmelidir .

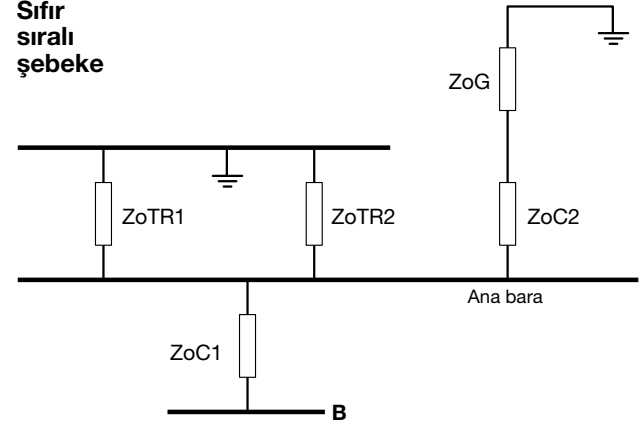
Pozitif sıralı şebeke



Negatif sıralı şebeke



Sıfır sıralı şebeke



Yukarıdaki duruma benzer bir işlem ve varsayımlarla, eşdeğer empedanslar elde edilir ve farklı arıza tipolojileri için kısa devre akımlarının hesaplanması gerçekleştirilebilir.

Üç fazlı arıza

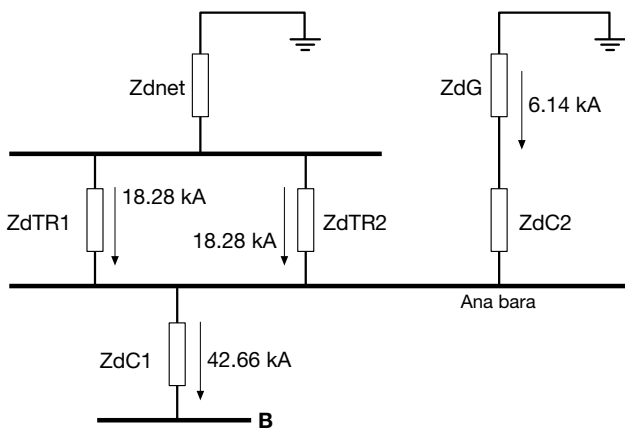
İlgili sıra şebekesinin indirgenmesinden elde edilen eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,B} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) + Z_{dC1} = 0.003 + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Bu nedenle, üç fazlı arıza akım değeri eşittir:

$$I_{k3B} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{dEq,B}} = 42.66 \cdot 10^3 \angle -57.59^\circ \text{ A}$$

Katkılar aşağıdaki gibi bölümlere ayrılmıştır:

**İki fazlı arıza**

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,B} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) + Z_{dC1} = 0.003 + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{IEq,B} = ((Z_{ITR1} \parallel Z_{ITR2}) + Z_{inet}) \parallel (Z_{IG} + Z_{IC2}) + Z_{IC1} = 0.003 + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Bu nedenle, iki fazlı arıza akım değeri eşittir:

$$I_{k2B} = \frac{V_{2n}}{Z_{dEq,B} + Z_{IEq,B}} = 36.73 \cdot 10^3 \angle -57.72^\circ \text{ A}$$

Tek fazlı arıza

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,B} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet}) \parallel (Z_{dG} + Z_{dC2}) + Z_{dC1} = 0.003 + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{IEq,B} = ((Z_{ITR1} \parallel Z_{ITR2}) + Z_{inet}) \parallel (Z_{IG} + Z_{IC2}) + Z_{IC1} = 0.003 + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-nötr:

$$Z_{o(F-N)Eq,B} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) \parallel (Z_{oG} + Z_{o(F-NC2)}) + Z_{o(F-NC1)}) = 0.017 + i \cdot 0.010 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-toprak:

$$Z_{o(F-PE)Eq,B} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) \parallel (Z_{oG} + Z_{o(F-PE)C2}) + Z_{o(F-PE)C1}) = 0.017 + i \cdot 0.010 \Omega$$

Hat-nötr arıza akımı değeri eşittir:

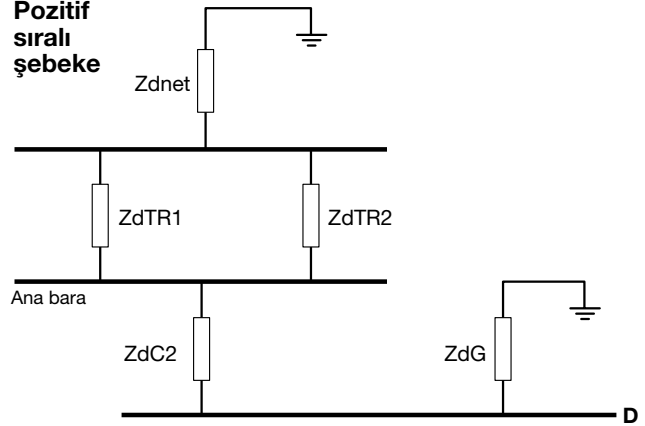
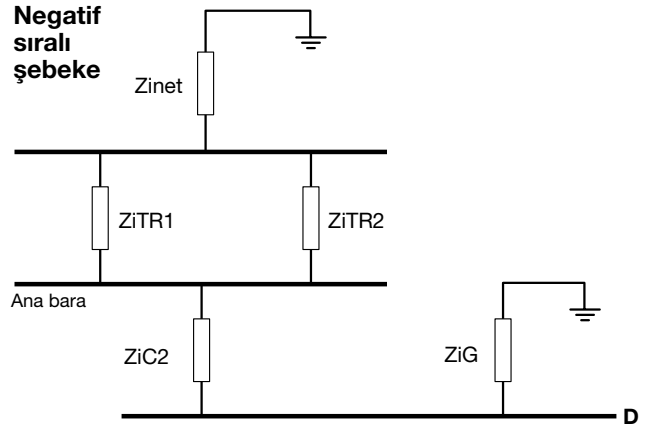
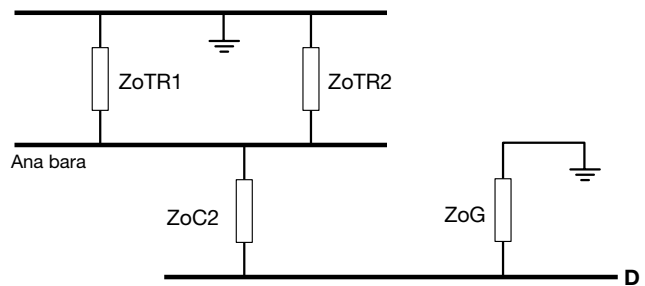
$$I_{k1(F-N)B} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,B} + Z_{IEq,B} + Z_{o(F-N)Eq,B}} = 23.02 \cdot 10^3 \angle -39.60^\circ \text{ A}$$

hat-toprak arıza akımı değeri ise:

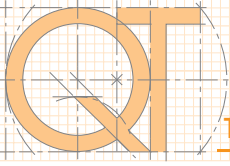
$$I_{k1(F-PE)B} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,B} + Z_{IEq,B} + Z_{o(F-PE)Eq,B}} = 23.35 \cdot 10^3 \angle -40.09^\circ \text{ A}$$

D'de Arıza

D'de bir hata olduğu varsayıldığında, transformatörün yük tarafında hata oluştuğundaki durum dikkate alınır. Yukarıdaki durumlarda açıklananlara uygun olarak, üç sıra şebekesi, D noktasından görüldüğü gibi empedansları dikkate alarak çizilir.

Pozitif sıralı şebeke**Negatif sıralı şebeke****Sıfır sıralı şebeke**

Yukarıdakilere benzer bir işlem ve varsayımlarla, eşdeğer empedanslar elde edilir ve farklı arıza tipolojileri için kısa devre akımlarının hesaplanması gerçekleştirilebilir.



Üç fazlı arıza

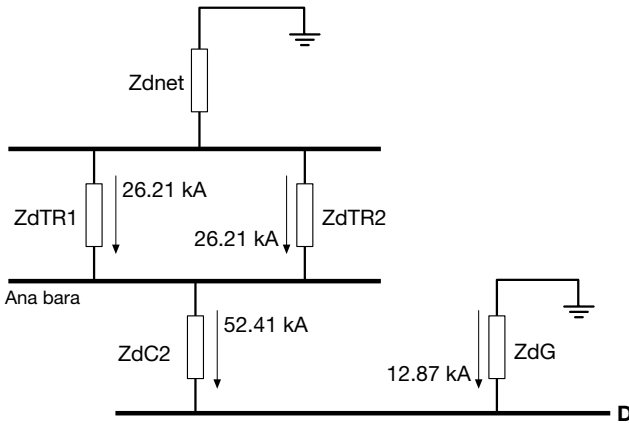
Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,B} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet} + Z_{dC2}) \parallel (Z_{dG}) = 5.653 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0035 \Omega$$

Bu nedenle, üç fazlı arıza akım değeri eşittir:

$$I_{k3D} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{dEq,D}} = 65.19 \cdot 10^3 \angle -80.82^\circ \text{ A}$$

Katkılar aşağıdaki gibi bölümlere ayrılmıştır:



İki fazlı arıza

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,D} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet} + Z_{dC2}) \parallel (Z_{dG}) = 5.653 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0035 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{IEq,D} = ((Z_{ITR1} \parallel Z_{ITR2}) + Z_{inet} + Z_{IC2}) \parallel (Z_{IG}) = 5.94 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0036 \Omega$$

Bu nedenle, iki fazlı arıza akım değeri eşittir:

$$I_{k2D} = \frac{V_{2n}}{Z_{dEq,D} + Z_{IEq,D}} = 55.46 \cdot 10^3 \angle -80.75^\circ \text{ A}$$

Tek fazlı arıza

Eşdeğer pozitif sıralı empedans:

$$Z_{dEq,D} = ((Z_{dTR1} \parallel Z_{dTR2}) + Z_{dnet} + Z_{dC2}) \parallel (Z_{dG}) = 5.653 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0035 \Omega$$

Eşdeğer negatif sıralı empedans:

$$Z_{IEq,D} = ((Z_{ITR1} \parallel Z_{ITR2}) + Z_{inet} + Z_{IC2}) \parallel (Z_{IG}) = 5.94 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0036 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-nötr:

$$Z_{o(F-N)Eq,D} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) + Z_{o(F-N)C2}) \parallel (Z_{oG}) = 9.127 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Eşdeğer sıfır sıralı empedans hat-toprak:

$$Z_{o(F-PE)Eq,D} = ((Z_{oTR1} \parallel Z_{oTR2}) + Z_{o(F-PE)C2}) \parallel (Z_{oG}) = 9.85 \cdot 10^{-4} + i \cdot 0.0046 \Omega$$

Hat-nötr arıza akımı değeri eşittir:

$$I_{k1(F-N)D} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,D} + Z_{IEq,D} + Z_{o(F-N)Eq,D}} = 58.03 \cdot 10^3 \angle -80.01^\circ \text{ A}$$

hat-toprak arıza akımı değeri ise:

$$I_{k1(F-PE)D} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{2n}}{Z_{dEq,D} + Z_{IEq,D} + Z_{o(F-PE)Eq,D}} = 57.99 \cdot 10^3 \angle -79.66^\circ \text{ A}$$

B2 Güç yöntemi

Bu yöntem, bir şebekedeki üç fazlı kısa devre akımının hızlı fakat yaklaşık bir değerlendirmesini sağlar. Arıza akımının değerlendirilmesi gereken noktada toplam kısa devre gücünü belirlemeden önce, şebekeyi oluşturan çeşitli elemanların (kısa devre güç transformatörleri - jeneratörler - kablolar) güç kısa devrelerini hesaplamak gerekir.

Paralel çalışan elemanlardan kaynaklanan güç akıları, seri haldeki dirençlerin formülünü uygulayarak azaltılırken, seri halde çalışan elemanlardan kaynaklanan güç akıları, dirençlerin formülünü paralel olarak uygulayarak azaltılabilir. Aşağıda daha önce incelenen bir şebekeye uygulanan hesaplama örneği verilmiştir.

Aynı hata tipolojisi için (A - B - D noktalarında üç fazlı kısa devre) bu "yaklaşık" yöntem, simetrik bileşenlerin yöntemini uygulayarak elde edilen sonuçlara oldukça benzer sonuçlar verdiği gözlemlenebilir.

Daha önce bildirilen tesis verilerine göre, şimdi tesisatın farklı unsurlarının kısa devre güçlerinin hesaplanmasına devam etmek mümkündür:

Besleme şebekesi

$S_{knet} = 750 \text{ MVA}$, bir tesis verisidir

Transformatör TR1-TR2

$$S_{kTR1} = \frac{S_{nTR1}}{v_{k\%}} \cdot 100 \quad S_{kTR1} = 26.67 \text{ MVA}$$

$$S_{kTR2} = \frac{S_{nTR2}}{v_{k\%}} \cdot 100 \quad S_{kTR2} = 26.67 \text{ MVA}$$

Jeneratör G

$$S_{kG} = \frac{S_{nG}}{x_d^{\%}} \cdot 100 \quad S_{kG} = 8.93 \text{ MVA}$$

Kablo C1-C2

$$S_{kC1} = \frac{V_{2n}^2}{Z_{FC1}} \quad S_{kC1} = 51.75 \text{ MVA}$$

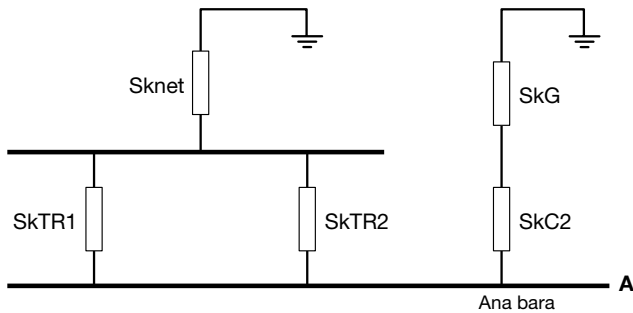
$$S_{kTR2} = \frac{V_{2n}^2}{Z_{FC2}} \quad S_{kC2} = 133.95 \text{ MVA}$$

burada:

$$Z_{FC1} = \sqrt{(R_{F1}^2 + X_{F1}^2)} \quad Z_{FC1} = 0.0031 \Omega$$

$$Z_{FC2} = \sqrt{(R_{F2}^2 + X_{F2}^2)} \quad Z_{FC2} = 0.0012 \Omega$$

A'daki arızayı göz önüne alarak, kısa devre güçlerinin katkısını şematik olarak gösteren şebeke şöyledir:

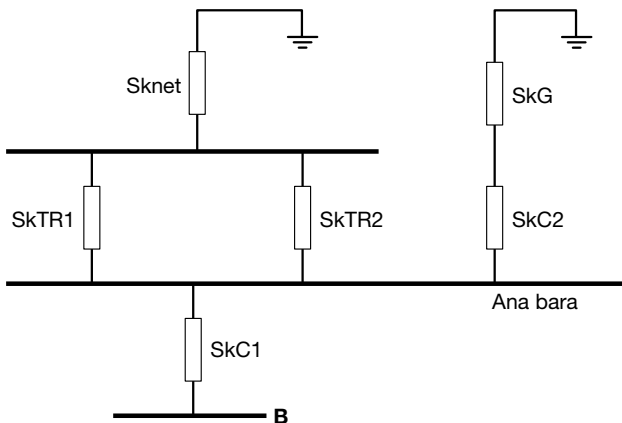


Seri ve paralel elemanların indirgenmesiyle, toplam güç için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$S_{kTOT(A)} = ((S_{kTR1} + S_{kTR2}) // S_{kR}) + (S_{kG} // S_{kC2}) = 58.16MVA$$

$$I_{k3A} = \frac{S_{kTOT(A)}}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} \text{ ve bunun sonucu: } I_{k3A} = 83.95kA$$

B'deki arızayı göz önüne alarak, kısa devre güçlerinin katkısını şematik olarak gösteren şebeke şöyledir:

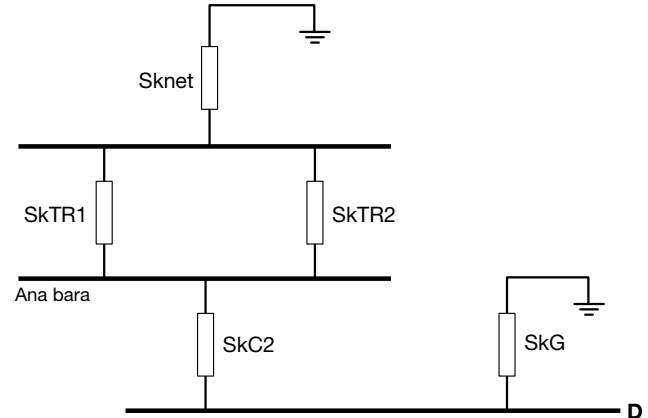


Seri ve paralel elemanların indirgenmesiyle, toplam güç için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$S_{kTOT(B)} = (((S_{kTR1} + S_{kTR2}) // S_{kR}) + (S_{kG} // S_{kC2})) // S_{kC1} = 27.38MVA$$

$$I_{k3B} = \frac{S_{kTOT(B)}}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} \text{ ve bunun sonucu: } I_{k3B} = 39.52kA$$

D'deki arızayı göz önüne alarak, kısa devre güçlerinin katkısını şematik olarak gösteren şebeke şöyledir:



Seri ve paralel elemanların indirgenmesiyle, toplam güç için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$S_{kTOT(D)} = (((S_{kTR1} + S_{kTR2}) // S_{kR}) // S_{kC2}) + S_{kG} = 45.23MVA$$

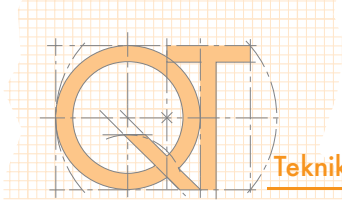
$$I_{k3D} = \frac{S_{kTOT(D)}}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} \text{ ve bunun sonucu: } I_{k3D} = 65.28kA$$

Elde edilen sonuçlar ile ilgili hususlar

Yukarıdaki örnekten, güç yönteminin kullanımının basitlik ve hız avantajı sağladığı ancak simetrik bileşenler yöntemi ile karşılaştırıldığında daha az hassas sonuçlar verebileceği açıktır.

“L” ve “R” için özel değerler ile karakterize edilen C2 kablosunun bulunduğu B noktasında hesaplanan üç fazlı arıza ile ilgili en belirgin fark, ifadelerin imajiner ve reel kısımları arasında diğer elemanlara göre farklı bir oran sunarak güç yönteminin “yaklaşık” karakterini vurgular.

Bununla birlikte, yaklaşıklığın etkisi, özellikle ön hesaplamaları yapmak için kullanılıyorsa, genellikle bu yöntemi geçersiz kılmaz.



Sözlük

$v_{k\%}$	yüzde cinsinden kısa devre gerilimi
$p_{k\%}$	yüzde cinsinden kısa devre gücü
V_n	nominal gerilim
S_n	nominal güç
I_n	nominal akım
V_{1n}	primer nominal gerilim
V_{2n}	sekonder nominal gerilim
X''_d	alt geçici reaktans, doğru eksen
X'_d	geçici reaktans, doğru eksen
X_d	senkron reaktans, doğru eksen
S_k	kısa devre görünür gücü
I_k	kısa devre akımı
i_p	tepe akımı
Z_k	kısa devre empedansı
X_k	kısa devre reaktansı
R_k	kısa devre direnci
$Z...$	genel bir elemanın empedansı
$R...$	genel bir elemanın direnci
$X...$	genel bir elemanın reaktansı
i_s	kısa devre akımının simetrik bileşeni
i_u	kısa devre akımının tek yönlü bileşeni
η	verimlilik
$\cos\varphi$	güç faktörü
$a \angle b$	kutupsal gösterim: "a" modüldür; "b" faz kayma açısıdır
$a+ib$	dikdörtgen gösterim: "a" reel, "b" imajiner kısımdır

Alt simgeler:

$...L$	pasif genel yük
$...TR$	transformatör
$...G$	jeneratör
$...M$	motor
$...n$	nominal
$...C$	kablo
$...Net$	tesis besleme şebekesi
$...N$	nötr
$...F$	faz
$...PE$	koruma iletkeni
$...1F-PE$	tek faz-toprak
$...1F-n$	hat-nötr
$...2$	iki fazlı
$...3$	üç fazlı
$...LV$	alçak gerilim
$...MV$	orta gerilim
$...k$	kısa devre durumu

Teknik Uygulama Föyleri

QT1

ABB devre kesiciler ile alçak gerilim seçiciliği

QT7

Üç fazlı asenkron motorlar
Genel özellikler ve koruma cihazlarının koordinasyonunda ABB çözümleri

QT2

OG/AG trafo merkezleri: kısa devre hesaplama teorisi ve örnekleri

QT8

Elektrik tesislerinde güç faktörü düzeltme ve harmonik filtreleme

QT3

Dağıtım sistemleri, dolaylı temas ve toprak hatasına karşı koruma

QT9

ABB devre kesiciler ile veriyolu haberleşmesi

QT4

AG panoları içindeki ABB devre kesiciler

QT10

Güneş enerjisi santralleri

QT5

Doğru akım uygulamaları için ABB devre kesiciler

QT11

IEC 61439 standardı Bölüm 1 ve Bölüm 2 ile uyumlu alçak gerilim panolarının oluşturulmasına yönelik esaslar

QT6

Ark dayanımlı alçak gerilim anahtarlama ve kontrol panoları

QT12

Deniz sistemleri ve gemi tesisatlarının genel özellikleri

QT13

Rüzgar enerjisi santralleri

Bize ulaşın

ABB Elektrik Sanayi A.Ş.

Organize Sanayi Bölgesi 2. Cadde No: 16
34776 Yukarı Dudullu / İstanbul
Tel : 0216 528 22 00
Faks : 0216 365 29 45

ABB Müşteri İletişim Merkezi

Tel : +90 850 333 1 222
Faks : +90 850 333 1 225
E-mail: contact.center@tr.abb.com

www.abb.com.tr

Not:

ABB önceden haber vermeksizin teknik değişiklikler yapma veya bu dokümanın içeriğini değiştirme hakkını saklı tutmaktadır. Satınalma siparişlerinde, üzerinde karşılıklı anlaşılmiş özellikler geçerli olacaktır. ABB, bu dokümandaki olası hatalar veya bilgi eksiklikleri için herhangi bir sorumluluk kabul etmeyecektir. Bu doküman ve ilgili konu ile burada kullanılan resimlerin telif hakkını saklı tutmaktayız. ABB'nin yazılı izni olmaksızın, her türlü kopyalama, üçüncü kişilerin kullanımı veya içeriğinden yararlanma – tümü ya da bir kısmı – yasaktır.

© Copyright 2019 ABB
Tüm hakları saklıdır.

1SDC007101G0202 - 02/2008 - 6.000

Power and productivity
for a better world™

