

Güç sistemlerinde ototransformatörler

1. GİRİŞ

Güç sistemlerindeki transformatörleri; fiziksel bağlantı biçimlerine göre iki bölümde toplayabiliriz:

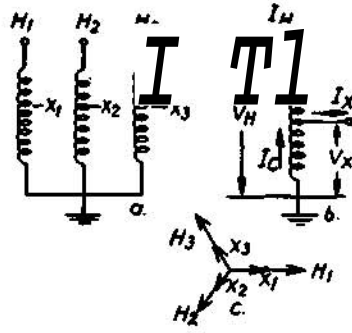
1. Oto bağlı (auto connected) transformatörler
2. Tam bağlı (full connected) ya da "iki sargılı" transformatörler.

İkinci bölümdeki "tam bağlı" deyimi olayı "iki sargılı" dan daha iyi tanımlamaktadır. Çünkü bir transformatörde üçüncü ve dördüncü sargılar da bulunabilir.

Ototransformatörler, ileride tartışacağımız nedenlerden, iletim sistemindeki güç transformatörlerinin çoğunluğunu oluşturur. Ototransformatörleri "tam" transformatörlerden ayıran nitelikler; bir sistem ya da uygulama çalışmasında ototransformatörlerle daha bir özen gösterilmesini gerektirir.

2. OTO BAĞLI TRANSFORMATÖRLER

Şekil 1'de oto bağlantı en basit biçimiyle gösterilmiştir. Bu basit şemadan ototransformatörün birincil üstünlüğü kolaylıkla çıkarılabilir.



Şekil 1. Ototransformatör bağlantısı

Bir oto transformatörün fiziksel boyutunu aynı çıkış gücündeki "tam" transformatör ile karşılaştırdığımızda aşağıdaki bağıntıyı yazabiliriz;

$$\text{Ototrafonun eşdeğer gücü} = \frac{V}{H} \times (1 - \frac{V_1}{V_H}) \quad (1)$$

Bu bağıntıda V_x/V_n oranı 1'e yaklaştığında ototrafo, tam trafodan çok daha küçük olacaktır. Eğer V_x/V_n oranı küçükse, oto üstünlüğü yok olur. İleride tartışılacak olan belirli sorunlar; oto bağlantı ile dönüştürmenin yararlı olabileceği V_x/V_n oranını sınırlamaktadır.

Şekil 1'deki bağlantı ve faz diyagramından, ototrafoda faz kaymasının olmadığını görürüz. Bu ise ototrafonun kullanılmasını sınırlar. Örneğin ototransformatörler bağlantı grupları farklı iki sistemi birleştirmede kullanılamaz.

Buradaki ototrafo yıldız bağlantıdır ve bu bağlantı biçimi en yaygın olanıdır. Ototrafonun nötrü topraklanarak, düşük yalıtım kullanılabilir.

Yukarıda anlatılan nitelikler ototrafonun yüksek gerilim iletim sistemlerinin birbirine bağlanmasında çok uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Çünkü bu tür sistemler çoğunlukla yıldız bağlı, topraklı ve aynı fazdadırlar.

3. ÜÇÜNCÜL SARGILAR

Ototransformatörlerde; çoğunlukla, üçüncül (tersiyer) sargı diye anılan bir üçüncü sargı vardır. Bu sargı oto bağlantıdan ayrıdır.

Üçüncül sargı bulundurulmasının nedenlerini şöyle özetleyebiliriz:

1. Bu sargıya, reaktif güç kompanzasyonu sağlamak için şönt reaktör bağlanabilir.
2. Dağıtım merkezinin kendi enerji gereksinimini karşılamak için (380/220 V) bu sargıya servis trafosu konabilir.
3. Üçüncü harmonik akımların tutulması için
4. Sıfır bileşen empedansın düşürülmesi için

Ototrafo, eşdeğeri tam trafodan daha büyük gücü bir gerilimden diğer gerilime dönüştürebildiği için verimliliği daha yüksektir. Empedans ve kayıplara bağlı olduğundan, ototrafolarda regülasyon da düşüktür.

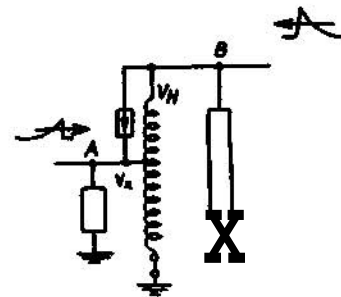
4. OTOTRAFOLARA İLİŞKİN SORUNLAR

4.1 Yalıtım

Çekirdek tipi bir transformatörde sargı, çekirdek bacağının boyunu açacağından sargılar çekirdeğe tabaka halinde yerleştirilir ve çekirdeğe en yakın sargı en düşük gerilimli olanıdır.

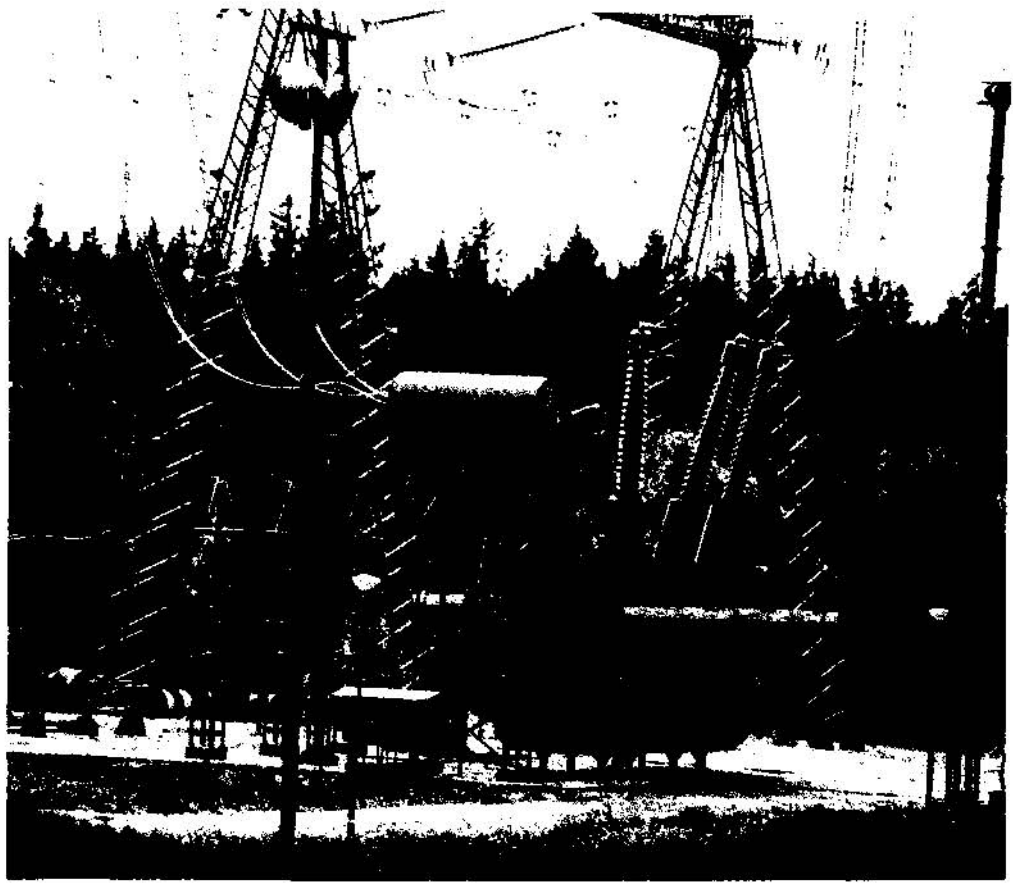
Ototrafoda, sargılar tam trafodakiler gibi yerleştirilir. Ortak sargı çekirdeğin en yakınına konur ve seri sargı bunun üzerine yerleştirilir.

İki bağlantı biçimi (oto ve tam) karşılaştırıldığında temel fark görülebilir. Bu fark, geçici aşırı gerilimlere karşı sargıların yalıtılmasında önemlidir (Şekil 2).



Şekil 2. Ototransformatörün seri sargısının darbe gerilimlerine karşı korunması

Şekil 3.
750 MVR ve
400/220kV'luk
bir oto-
transformator



Şekil 4.
AEP (ABD)
sisteminde
765/345 kV'luk
ototransformator
merkezi

tki sargılı transformatörde, yüksek gerilim sargısı topraklıdır ve yalıtımı çoğunlukla düşürülmüştür. Eğer seri sargı düşünülecek olursa; gerilim dalgaları (voltage surges) sarğıya hem AG (alçak gerilim) hem de YG (yüksek gerilim) hatından gelir.

Tasarımcı yönünden seri sarğının yalıtımı önemli bir sorundur.

Şekil 2'deki gibi YG hattından bir gerilim dalgası geldiğini varsayalım. Eğer gösterildiği gibi nötr topraklıysa, soruna aşağıdaki biçimde de yaklaşabiliriz:

AG uçlarına bağlı hatların dalga empedansı (surge impedance, characteristic impedance) oldukça düşüktür ve pratik olarak topraklı sayılabilir. Bunun anlamı; hatta görülen gerilim dalgası; toprağa kadar olan tüm sarımlarda değil, yalnızca seri sarğının sarımları üzerinde dağılır. V_x/V_{JJ} oranı l'e yaklaştıkça seri sarğıdaki sarım sayısı azalır ve yalıtma güçleşir. Dalga gerilimini sınırlandırmanın bir yolu; sergi sarğının uçları arasına parafudur türü koruyucu aygıt koymaktır.

Hatta gerilim dalgası görüldüğünde nötr topraklı değilse, daha değişik bir sorunla karşılaşırız.

Hatta görünen gerilim; AG/(YG-AG) oranında ortak sarğıya aktarılır. V_x/V_H oranının l'e yakın değerlerinde bu oran yüksektir. Bu artırıcı etken de yalıtma sorununu karmaşıklaştırır.

Bu tür sorunlar; ototrafoların kullanımını, gerilim oranlarını en az 1,1 olarak sınırlandırmaktadır.

4.2 Kısa Devre Empedansı

Bir trafonun kısa devre empedansı; sarğuların çekirdek üzerindeki fiziksel yerleştirilişine ve sarğular arasında-

ki yalıtma aralıklarına bağlıdır.

Empedansı X olan bir tam transformatör ototransformatör olarak bağlansa; ototrafonun kısa devre empedansı aşağıdaki gibi olur.

$$x_{oto} = x_{tam} \left(1 - \frac{V_x}{V_H}\right) \quad (2)$$

Bunun anlamı; ototrafonun empedansı doğal olarak tam trafonun empedansından daha küçüktür. Daha büyük empedans elde etmek için 2 nolu denklemin parametrelerini ayarlayacak ototrafo tasarımı yapılabilir. Ancak böyle bir tasarım uygun çözüm olmayabilir.

Ototrafo empedansı tasarım yönünden çok önemlidir. Çünkü transformatör kısa devreye karşı, başarıyla dayanmalıdır.

Çok sargılı transformatörler ve özellikle ototransformatörlerin kısa devre hesaplamalarında; her sarğı için hangi uçta ne tür bir arızanın en yüksek kısa devre zorlanmasına yol açacağı gibi, çok sarğıdaki durumun incelenmesi gerekir.

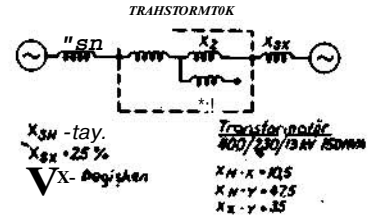
Yukarıdaki belirlemeyi yapabilmek için, yapımcının tüm sistem parametrelerini bilmesi gerekir. Sistem empedanslarının, yalnızca arıza akımlarının mutlak değerlerinin bulunmasında değil, ayrıca en büyük kısa devre zorlanmalarını doğuracak koşulların belirlenmesinde önemli bir etkisi vardır.

Bir tipik ototrafonun kısa devre hesaplamalarında; yukarıda anlatılan etkenlerin nasıl bulunacağını inceliyelim:

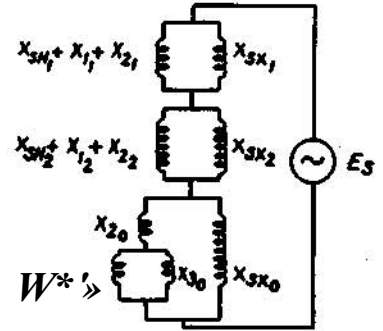
Sistem empedansı	Transformatör
400 kV .. % 1	$X_{H-x} = \% 10,5$
230 kV .. % 2,5	$X_{JJ-y} = \% 47,5$
Baz; 150 MVA	$3 \wedge \wedge = \% 35$

Transformatör: 150 MVA,
400/230/13 kV

Üzerinde çalışılan ototrafonun en kötü koşulunu saptamak için aşağıdaki arıza türleri-



Şekil 5. Kısa devre çalışması için eşdeğer devre



Şekil 5a. AG çıkışındaki tek faz toprak kısa devresi hesaplaması için eşdeğer devre

nin incelenmesi gerekir:

1. Tek faz-toprak arızası
2. 3 faz-simetrik arıza
3. Faz-faz arızası

Bu arızaların sırasıyla 3 sarğının her birisinde olduğu varsayılmıştır.

Aşağıdaki çözümlemeye değışkenlerden biri X_0/X_1 oranıdır. Bu oran arızanın niteliğine göre değışir. Bu hesaplamalarda bilgisayar tekniklerinin kullanılması büyük kolaylıklar sağlar.

Arızanın türü ve yeri	V ¹	'ortak	'seri	'üçüncül
TFT-X	1	11,1	8,8	7,5
	2	11,7	8,5	10,2
	3	11,8	8,2	11,6
	4	11,8	7,8	12,5
	5	11,7	7,5	13,3
3F-X	-	8,7	8,7	-
FF-X	-	9,2	9,2	-
TFT-H	1	7,5	7,7	0,8
	2	6,4	7,2	2,4
	3	5,4	6,6	3,9
	4	4,6	6,2	5,1
	5	3,9	5,8	6,1
3F-H	-	7,7	7,7	-
FF-H	-	7,2	8,2	-
FF-Y	-	-	-	20,9

Not:

Arızanın türü :

TFT : Tek faz toprak arızası

3F : Oc faz simetrik arıza

FF : Faz-faz arızası

Arızanın yeri :

X : Alçak gerilim sargısı (400 kV)

H : Yüksek gerilim sargısı (230 kV)

Y : Tersiyer sargısı (13 kV)

Tablo 1.

Tablo 1'deki değerlerden her sargı için en kötü arıza koşulunu kolaylıkla bulabiliriz.

Sargı	Arızanın türü ve yeri	V ¹
Ortak	Tn - X	3
Sert	FF - X	-
OcÜncül (tersiyer)	3f - Y	-

Tablo 2.

Ortak sargıdaki en yüksek akım AG tarafındaki TFT arızasında ve $\frac{I}{I_n}$ oranı 3 olduğunda doğmaktadır.

Yukarıdaki kısa devre hesaplamalarını kaynağı "sonsuz bara" olarak tekrarlarsak, aşağıdaki tabloyu buluruz.

Arızanın türü ve yeri	V ¹	'ortak	'seri	'üçüncül
TFT-X	1	12,1	9,6	7,9
	2	13,4	9,7	11,8
	3	14,1	9,7	14,2
	4	14,6	9,7	15,7
	5	15,1	9,7	16,8
3F-X	-	9,5	9,5	-
FF-X	-	8,3	8,3	-
TFT-H	1	9,7	9,5	0,7
	2	9,9	9,5	1,0
	3	9,9	9,5	1,2
	4	9,9	9,5	1,4
	5	10,0	9,5	1,5
3F-H	-	9,5	9,5	-
FF-K	-	8,2	8,2	-
3F-Y	-	-	-	21,5

Tablo 3.

Bu durumda her sargı için en kötü arıza koşulu;

Sargı	Arızanın türü ve yeri	V ¹
Ortak	TFT - X	-
Seri	TFT - X	-
OcÜncül (tersiyer)	3F - Y	-

* Kısa devre akımı $\frac{I}{I_n}$ oranı büyükçe artmaktadır.

Tablo 4.

Seri sargı için en kötü koşul AG tarafındaki TFT arızasıdır.

Yukarıdaki örneklemeler; ototrafonun en kötü koşulunu belirlemek için yapılan kısa devre hesaplamalarının biraz karmaşık olduğunu ortaya koymaktadır. Çözümün sağlıklı olması, sistemdeki tüm parametrelerin alınıp alınmamasına bağlıdır. Parametrelerin gerçek değerleri bulunabilecek ise, varsayımlar yapmaktan kaçınılmalıdır.

5. OTOTRANSFORMATÖRLERİN TAM TRANSFORMATÖRLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıdaki kısa devre hesaplamalarını aynı çıkış empedanslı bir tam trafo için tekrarladığımızda; AG sargısındaki kısa devre akımını ototrafonun ortak sargısındaki kısa devre akımıyla karşılaştırabiliriz. Ototrafonun ortak sargısındaki en büyük kısa devre akımı anma akımının 11,8 katı olduğu halde, tam trafo AG sargısındaki kısa devre akımı anma akımının 8,2 katına düşmektedir.

6. OTOTRANSFORMATÖRLERDE GERİLİM AYARI

Transformatörlerde gerilim ayarı; ya boşta kademe değiştirme (BKD) ya da yük altında kademe değiştirme (YAKD) yöntemleriyle yapılır. Yük altında kademe değiştirme yön-

teminin kullanılması çok yaygındır ve bu amaçla birçok ülkelerde tek tip aygıt kullanılmaktadır.

Transformatörlerde YAKD, ya faz geriliminin ya da faz açısının denetlenmesi için, bazan da her iki işlevin bir arada yapılması amacıyla kullanılır.

Burada yalnızca faz geriliminin ayarı üzerinde duracağız. Gerilimin ayarı iki nedenden gerekebilir;

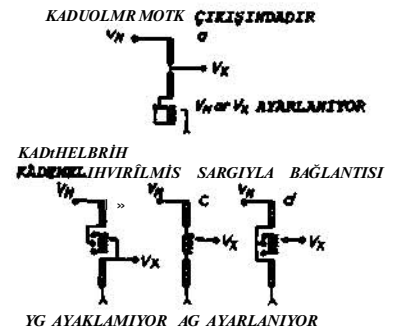
1. Transformatöre gelen gerilim değişkendir.
2. Yüke bağlı gerilim değişmelerini karşılamak için trafo çıkış geriliminin değiştirilmesi istenebilir.

Kademe değiştirme aygıtının devrede nereye yerleştirileceği, aygıtın ne nitelikte olması gerektiğini de belirler. Aygıtın elektriksel yerleştirilişinde aşağıdaki noktalar gözönünde tutulmalıdır;

1. Ayar devresindeki akımın büyüklüğü
2. Gerekli yalıtıklık düzeyi
3. Transformatörün empedans niteliği
4. Akı yoğunluğunun değişimi.

Ototransformatörlerde YAKD uygulaması, hem müşteri hem de yapımçı yönünden üzerinde özenle durulması gereken bir konudur.

Şekil 6'da kullanılabilecek temel düzenlemeler verilmiştir.



Şekil 6. Gerilim ayarı devresinin ototransformatöre yerleştirilişi

Şekil 6.a'da YAKD, nötr çıkışına ya da ortak sargıya yerleştirilmiştir. Nötr topraklıysa, YAKD, nötr çıkışından daha büyük bir yalıtımı gerektirmez.

Şekil 6.b,c ve d'de; YAKD, ilke olarak ortak sargıya yerleştirilmiş ve sargıya eşit yalıtılmıştır.

Şekil 6.b'de akım seri sargıdadır. Şekil 6.c'de akım, ayar sargısındadır ve en çok ortak sargı akımına yükselmektedir. Şekil 6.c'de akım AG sargısının akımına ulaşmaktadır ve en yüksek değerde olanıdır.

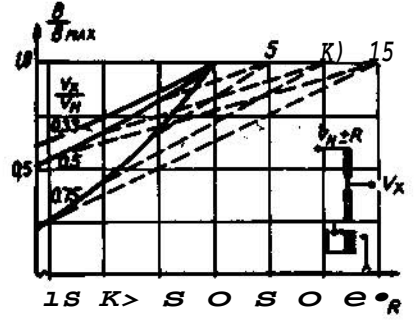
Şekil 6.b,c ve d'de artan gerilim kadar ayar devresine sarım eklendiğinden akı yoğunluğu değişmez. Şekil 6.a'da ise akı yoğunluğu kademe konumuna bağlı olarak değişir.

6.1 Akı Yoğunluğunun Değişmesi

Kademe değiştirici, değişken gerilim alan sargıların dışına konuyorsa, akı yoğunluğunun değişeceği söylenebilir. Akı yoğunluğunun değişmesi; sarım başına gerilimin anma değere göre sapmasının sonucudur.

Ototransformatörlerde YAKD ortak sargıya yerleştirilirse; akı yoğunluğu kademe konumuna bağlı olarak değişir. Burada akı yoğunluğu gerilimin hangi taraftan (AG ya da YG) ayarlandığına bağlı değildir.

Şekil 8'de çekirdek akı yoğunluğunun kademe konumuna bağlı olarak (V_x/V_u oranları için) değişmesi verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi,



Şekil fi. Kademe konumu ve gerilim oranının işlevi olarak transformatör akı yoğunluğunun değişmesi

akı yoğunluğunun değişimi gerilim oranının bir işlevidir.

Sarım başına gerilimin değişmesinden gelen akı yoğunluğundaki değişme; çekirdek kesitinin normalin üzerinde olmasını gerektirir. Bu da, transformatörün ağırlığının ve boyutlarının artmasına ve böylece maliyet yükselmesine yol açar.

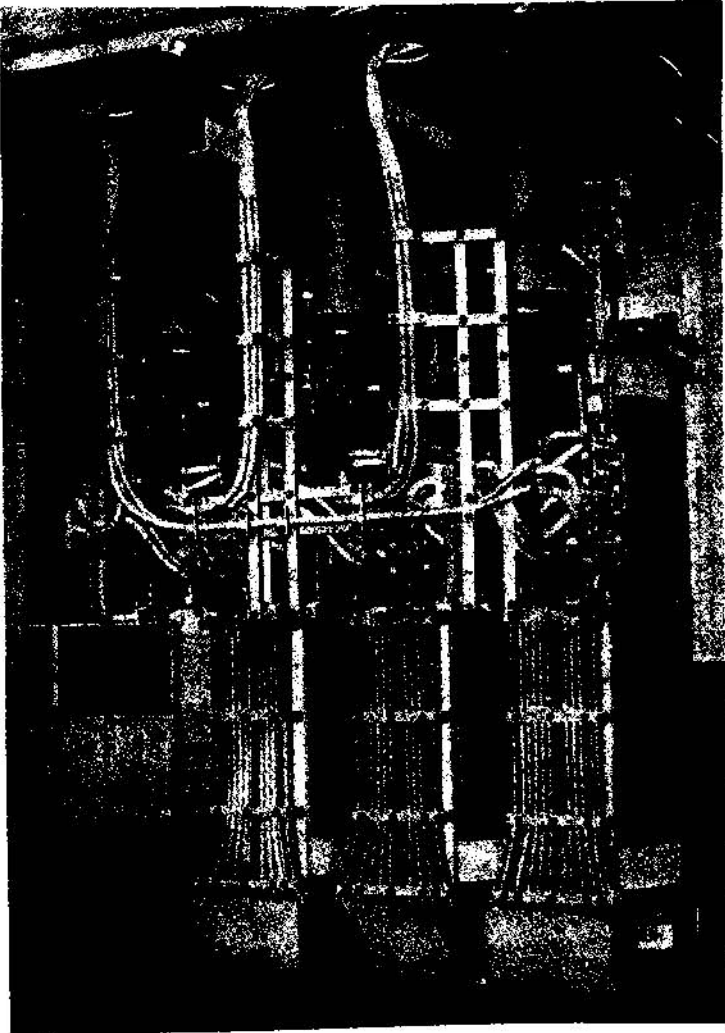
Diğer bir sorun ise; çekirdek üzerindeki diğer sargıların akım yoğunluğunun değişmesinden etkilenmesi ve ayar devresinin dışındaki sargılarda istenmeyen gerilim dalgalanmalarının doğmasıdır. üçüncül sargılar buna örnek gösterilebilir.

6.2 Empedans Değişmesi

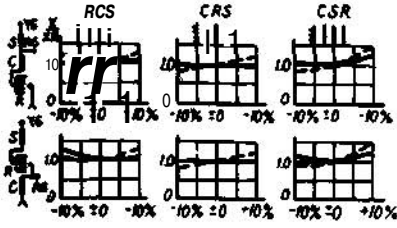
Transformatör empedansları da YAKD aygıtının yerleştirilmesinden etkilenir.

2 nolu denklemden; transformatör yüzde empedansının kademe konumuna bağlı olarak değiştiğini söyleyebiliriz. Çünkü $|1 - (V_x/V_u)|$ terimi kademe konumuna bağlıdır ve empedanstaki değişme sarım başına gerilimin de değişmesine yol açar.

Ayar sargısının çekirdek üzerinde; ortak ve seri sargıların arasına ya da seri sargının dışına yerleştirilmesi de transformatörün empedans niteliğini etkiler.



Şekil 7. Yük altında kademe değiştirme aygıtı



Sekil 9. Kademe konumunun ve ayar devresinin yerleştirilişine bağlı olarak empedansın değişimi

Şekil 9'da; YAKD aygıtının ototransformatörün nötrüne ya da ortak sargısına yerleştirilişine bağlı olarak empedans değişimleri verilmiştir. Ayrıca transformatörün yalnız başına ya da diğer birimlerle paralel olarak çalışmasının da empedans değişimlerini etkileyeceği söylenebilir.

Standartlar bu konuya çok az değinir ve genel olarak trans-

formatörlerin anma gerilimindeki empedansları belirli sınırlar içerisindeyse, transformatörlerin paralel çalışabileceğini söyler. Ancak, paralel çalışma için kademelelerin en üst ve alt değerindeki empedansların da belirli sınırlar içerisinde olması gerekir.

6.3 Ayrı Kademe Değiştirme Birimleri

Ayarlanması istenen gerilim arttıkça, alışılmış YAKD yöntemlerinin yeterli olmadığı görülür. Geleceğin büyük güçlü transformatörlerinde; çok büyük akımlar taşıyacak YAKD aygıtlarının yapılması pratik olmayacaktır. Bu durumda; güç transformatörüne dışardan bağlanan ayrı kademe değiştirme birimlerinin kullanılması gerekecektir.

7. ÖZET

Günümüzün EYG ve UYG sistemlerinde yararlılıkla kullanı-

labilecek ototransformatörlerin tam transformatöre göre üstünlüklerini şöyle özetleyebiliriz:

1. Fiziksel boyutlarının küçük-jüğü,
2. Verimliliğinin daha fazla olması,
3. Daha iyi gerilim ayarının yapılabilmesi,
- A. Maliyetlerinin daha düşük olması.

Oto bağlı transformatörlerde; empedans özelliği (characteristic), kısa devre zorlanması ve yük altında kademe değiştirme üzerinde önemle durulmalıdır. UYG sistemlerinde transformatör güçleri çok büyüyecektir. Bu durumda ototransformatör uygulamasının yeniden gözden geçirilmesi ve tam transformatörlerle karşılaştırıldığında varolan üstünlüklere bazı durumlar için yenilerin ekleneceği sanılmaktadır.

(Autotransformers in Power Systems. B.G.Klinga, Power Division, ASEA, Västerås, İsveç)



Şekil 10. 500 MVA'lık 140 kV \pm % 10 gerilim ayarı yapan bir transformatör