

## ŞÖNT REAKTÖR TEKNOLOJİSİNDE GELİŞMELER

Selim Yurekten, ENPAY

Anahtar Kelimeler: şönt reaktör, hava aralıklı magnetik nüve, elektro seramik, fringing etkisi, magnetik kayıplar, doyma noktası (knee point), titreşim ve ses seviyesi.

### GİRİŞ

Orta (MV), yüksek (HV) ve çok yüksek (UHV) gerilim şebekelerinde gerilim dalgalanmalarının önüne geçmek için şönt reaktörler kullanılır (ferranti effect). Şebekelerde meydana gelen kapasitif reaktif güç, şönt reaktörlerin endüktif reaktif gücüyle kompanse edilerek aşırı gerilim yükselmeleri önlenir. Kaliteli ve kesiksiz enerji kullanımı hususunda bilinç hayli yükseldi. Bu sebepten şebekelerde şönt reaktör kullanımı da arttı. Bilindiği gibi ekonomik sebeplerle enerji nakil hatlarında giderek daha yüksek gerilimler kullanılmaya başlandı. Bu durum ise, hatlarda daha fazla ani geçici (transient) gerilim yükselmelerine ve güç kayıplarına sebep olur. Yurdumuzdaki şebekelerde çok miktarda şönt reaktör işletmededir. Kullanılan enerji kalite ve emniyet derecesini yükseltmek için bunlara ihtiyaç daha da artmaktadır.

Şönt reaktörlerde kullanılan komponentler trafoların aynısıdır. Ancak, magnetik nüve bacaları farklıdır. Genel olarak şönt reaktörler iki tiptir, birincisi radyal dizilmiş silindirik paketlerden oluşan ve bu paketlerin aralarında hava aralıkları bırakılan tip (gapped –core type) ve diğeri hava nüveli tip (air-core type). Ancak bu ikincisinde sargı içinde nüve olmayıp, sargı alt ve üstünde magnetik boyunduruklar bulunur. Biz bu yazımızda radyal dizimli hava aralıklı nüveye sahip şönt reaktörlerin günümüz teknolojisinden bahsedeceğiz. [1],[2],[3]

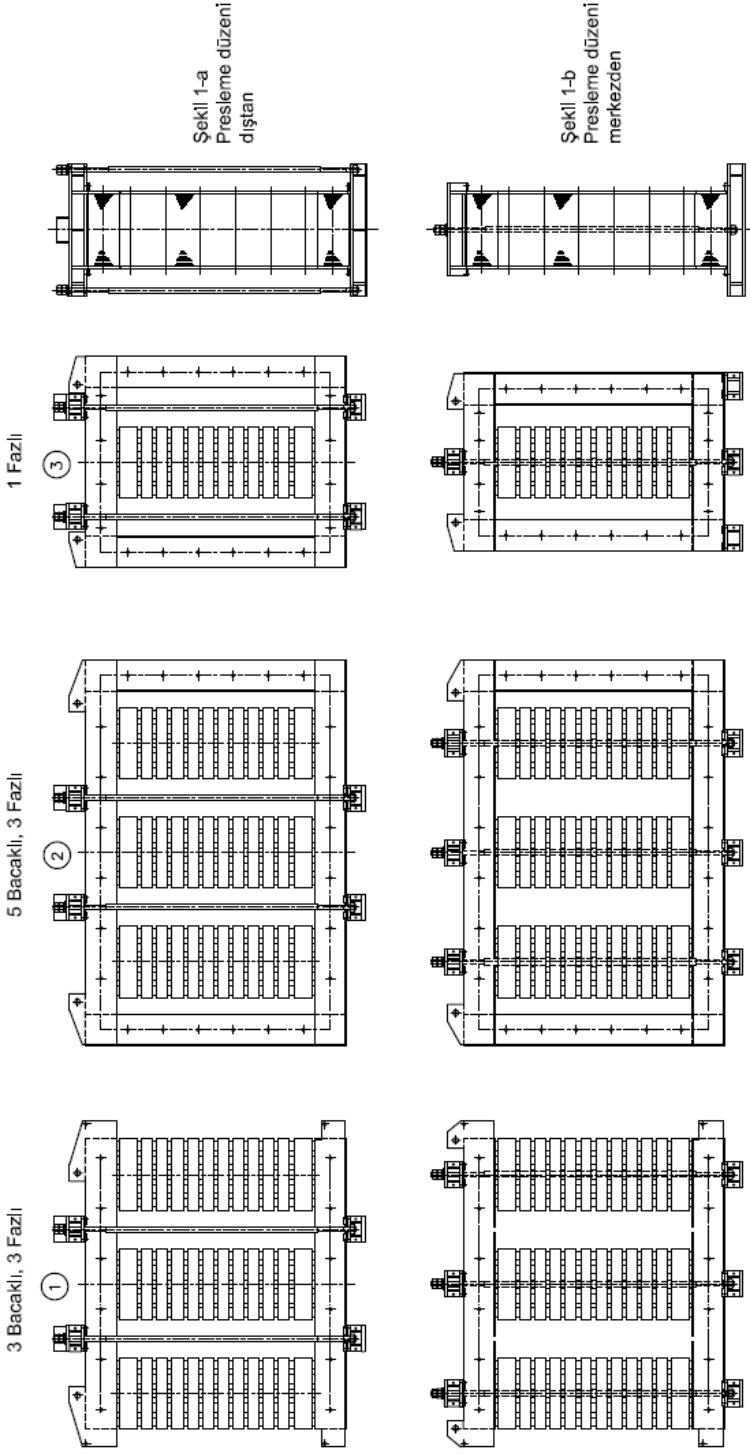
Şekil 1a-1b-1c muhtelif nüve dizaynlarını şematik olarak gösteriyor.

### TEKNİK SPESİFİKASYON

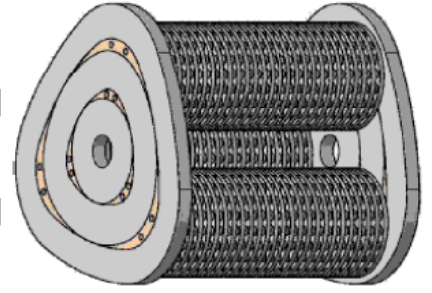
Şönt reaktörlerin dizaynı ve hesaplarını projelendirmek için aşağıdaki verilerin olması gerekir:

- Nominal güç (reaktif güç)
- İşletme frekansı
- Nominal ve maksimum işletme gerilimi
- Yalıtım seviyesi LI, SI
- Faz sayısı ve bacak adedi
- Gürültü seviyesi
- Nüve doyma/büküm noktası
- Test gerilimi
- Kayıp ve ısınma talepleri
- Soğutma şekli
- Çevre şartları
- Nakliye limitleri
- Kayıpların kapitalizasyonu
- Emniyet ve monitoring ekipmanı

## Reaktör Nüvelerinin Şematik Gösterilişi



Şekil 1-c  
Yuvarlak sarma boyunduruklu, 3 bacaklı (50 MVA'ya kadar)



## REAKTÖRLERİN TEMEL HESAPLAMA FORMÜLLERİ

$$\text{Nominal Akım} \quad I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \quad [I_N] = A \quad [S_N] = VA \quad [U_N] = V$$

$$\text{Empedans} \quad Z_N = \frac{U_N}{\sqrt{3}I_N} \quad [Z_N] = \Omega \quad Z_N \gg R \quad Z_N \cong X_N$$

$$\text{Selfendüktans} \quad L_N = \frac{X_N}{2\pi f} \quad [L_N] = H \quad X_N = \Omega \quad [f] = \text{Hz}$$

Selfendüktansda meydana gelen magnetik enerji

$$W_{MN} = \frac{1}{2} L_N I_N^2 \quad W_{MN} = VAS$$

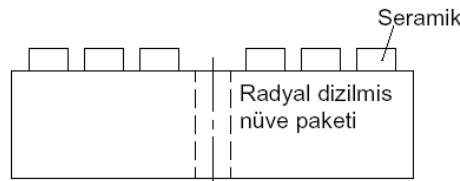
## NÜVE KESİTİ

Nüve kesitinin tespiti; nominal güç, frekans, sarım sayısı, hava aralığı, gürültü seviyesi, kayıplar vs. gibi değerlere bağlıdır. Nüve saçlarının diziminde meydana gelen demir doldurma faktörü (%93–97), işletme endüksiyonu (0,9–1,5 T), bacak ortasındaki deliğin çapı, kullanılan saçların magnetik özellikleri vs. gibi değerler de tecrübelerle elde edilmiş değerler olup nüve kesitinin tespitinde rol oynarlar.

Reaktörlerde enerji 4 yerde oluşur:

- 1- Bacaklardaki hava aralıklarında
- 2- Bacaklarla boyunduruklar arasındaki hava aralıklarında
- 3- Bacaklarla sargılar arasındaki hacimde
- 4- Sargının işgal ettiği hacimde

En büyük enerji bacadaki hava aralıklarında (% 70–90 )hâsıl olur, geri kalan kısmı diğer yerlerde meydana gelir.



Şekil 2

Şekil 2, radyal dizilmiş bir nüveyi (bacak) ve buna yapıştırılmış, hava aralığını meydana getirecek olan elektro seramik parçaları gösteriyor. Merkezdeki delik çapı küçük ise bu, bacak ve sargıların dış çevreden sıkıştırılıp pres edileceğini gösterir.

Merkezdeki delik çapı büyük ise, preslemenin merkezden yapılacağını gösterir. Çünkü bu delikten radyal sıkıştırma saplamaları geçer. Saplamalar özel anti magnetik çelik malzemeden yapılmıştır. Kullanılan elektro seramiklerin teknik özelliği IEC 60672 de verilmiştir. Bunlar, magnetik olarak nötr ve çok yüksek elastisite modülüne sahiptir.

Saç paketleriyle hava aralıklarının magnetik permeabiliteleri farklı olduğundan paketler arasında, elektromıknatis kutuplarında olduğu gibi, çekme kuvveti meydana gelir. Bu kuvvetler, şebeke frekansının iki katı frekansla sıfır ve max. değer arasında değişerek hava aralığını küçültmeye çalışır. Bu olay, mekanik titreşim ve gürültü üretir. Bunun önüne geçmek için pres konstrüksiyonuna yaylar monte edilir.

Nüve paketler yüksek vakum altında empenye edilir ve seramiklerle yapıştırılarak robust bir kütle oluşturulur. Paketlerin birbiriyle yapıştırılmasından meydana gelen bacak yükseklik toleransları çok hassas sınırlar içindedir. Şekil 3 yapıştırılmış bir bacağı gösteriyor.



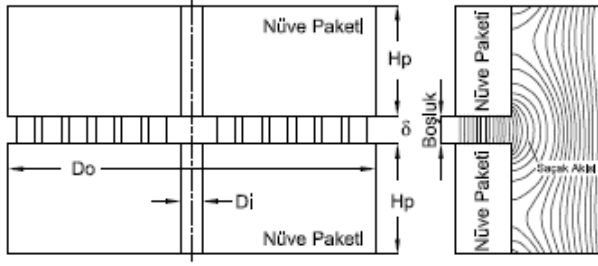
Şekil 3. Monte edilmiş bacak (foto ENPAY)

## FRINGING (SAÇAK) ETKİSİ ve KAYIPLAR

Nüve paketlerin orta bölgelerinde magnetik akı bacak eksenine paraleldir (şekil 4a), ancak kenar çevrede dışarı doğru bükülür ve radyal bileşen kazanır (fringing effect / saçak etkisi) (şekil 4b-4c). Bu bölgelerde büyük eddy akımları sebebiyle ısınma meydana gelir. Fringing etkisi nüve paketinin daha büyük yapılmasına sebep oluyor. İki paket arasındaki hava aralığı ne kadar yüksek seçilirse paket çapı da o kadar büyük olacaktır. Ancak bu durum sargı bakır kayıplarının da büyümesine sebep olur.

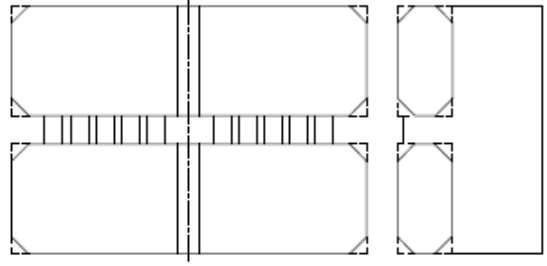
Reaktörde meydana gelen kayıplar şöyle sıralanabilir:

- Sargı kayıpları ( sargı direnci ve eddy akım kayıpları)
- Boyunduruklardaki magnetik kayıplar
- Bacaklardaki magnetik kayıplar( trafo saçlarındaki (CRGO) kayıpların %67 si eddy akım kayıpları, %33 ü Hysteresis kayıplarıdır. Fringing fluxlarıyla endüklenen eddy akım kayıpları lokal aşırı ısınmalara sebep olur. Bunun önüne geçmek için paketlerin köşeleri kırılır[4]. Kırık köşeli paketlerde total eddy akım kayıpları takriben %50 sine kadar azaltılabilir. Böylece daha ekonomik bir reaktör üretimi gerçekleştirilebilir ( daha küçük çaplı bir nüve paketi). Enpay'da üretimi yapılan yaklaşık aynı speklere sahip, 80 MVAR ve 800 kV luk iki şönt reaktör nüvesi (biri keskin diğeri kırılmış köşeli) ağırlığındaki farkın 2,5 ton civarında olduğu tespit edilmiştir.
- Kaçak akıların meydana getirdiği (ilave) kayıplar. Eğer bacakların alt ve üstüne daha büyük çapta ilave yuvarlak boyunduruklar konursa (additional ring yoke) sargı bakırı kayıpları %10 kadar düşürülebilir. [5],[6] Şekil 6 bu durumu gösteriyor.

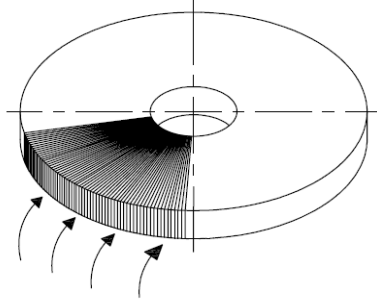


Şekil.4a

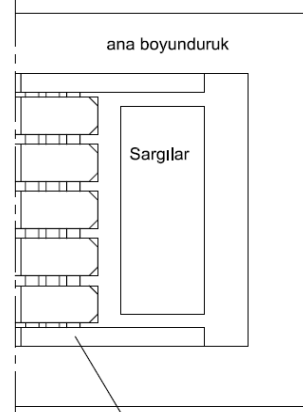
Şekil.4b



Şekil.5



Fringing Flux  
Şekil 4c



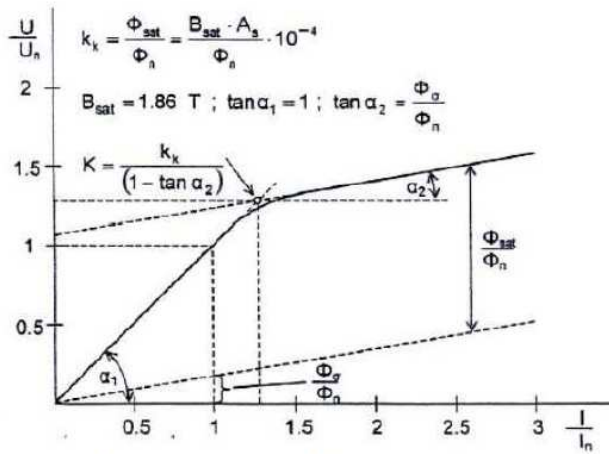
Şekil 6

İşletmede şönt reaktörler daima tam yüklenir, dolayısıyla sargı, nüve ve diğer ilave kayıplar ayrı ayrı ölçülemez, yalnızca toplam kayıplar ölçülebilir. Kayıpların ayrı ayrı belirlenmesi hesap yöntemleriyle yaklaşık olarak tespit edilebilir.

## NÜVE DOYUMU, BÜKÜM NOKTASI (KNEE POINT)

Şekil 7, reaktör nüvesinin magnetik doyma noktasını (knee point) gösteriyor. Empedans, nominal gücün bir miktar üstüne kadar lineerdir (ör. %130).

Nüve saçları bu noktadan itibaren doymaya başlar. Büküm noktası doymanın başladığı noktadır. Nüvenin doyması ile magnetik nüve (air core) havalı nüve olarak etkiye girer. Büküm noktasının üstünde endüksiyon aşırı ısınma (hot spot) meydana getirir.



Şekil 7 – Doyma eğrisi, büküm noktası (Knee Point)

- K= Knee point
- K<sub>k</sub>= Knee point katsayısı
- Ø<sub>n</sub>= Nominal flux
- Ø<sub>sat</sub>= Doyma fluxu
- B<sub>sat</sub>= Doyma endüksiyonu

## NÜVE DİZAYNI

Aşağıdaki resimlerde muhtelif nüve dizaynına göre üretilmiş komple nüveler (bacak + boyunduruk ) görülüyor.



Şekil 8- 5 bacaklı dıştan sıkıştırırmalı Reaktör nüvesi (Foto ENPAY)



Şekil 9- 3 bacaklı merkezden sıkıştırırmalı reaktör nüvesi (Foto ENPAY)

Üç fazlı şönt reaktörler üç ya da beş bacaklı olarak üretilebilir. Beş bacaklılar daha pahalı ancak aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Her bir faz münferiden etkide bulunur ve test edilebilir.
- Sıfır empedansı doğru bileşen empedansına eşittir. Bu yüzden yıldız noktası üzerinden akan hata akımları, üç bacaklı tipteki hata akımlarından daha küçüktür.
- Beş bacaklı reaktör yüksekliği üç bacaklıya nazaran daha kısadır.

Yukarıdaki tiplerin dışında boyundurukları, sarma boyunduruk teknolojisiyle üretilen (takriben max. 50 MVA) tipler de vardır. Bunlar elektrik anlamında simetriktir.



Şekil 10- Sarma Boyunduruk(Foto ENPAY)

## TİTREŞİM ve SES SEVİYESİ (GÜRÜLTÜ)

Pratikte şönt reaktörlerin ses seviyeleri 60–80 dB civarındadır, üretim teknolojisine göre değişir (7). Titreşim ve gürültünün büyük kısmı nüvedeki hava aralığında oluşur.

Tank duvarlarında 10–20 mü. Civarında bir titreşim oluşur. Ses ve titreşim muhtelif parametrelerden meydana gelir. Bazıları:

- Kullanılan silisli saçların (CRGO) kalitesi
- Bacaklar ve komple nüvenin sıkıştırılma kalitesi
- Bacaklardaki endüksiyon değeri
- Hava aralığından kullanılan seramiklerin kalitesi
- Üretim tekniklerinin hassasiyeti, robust dizayn, malzemelerin spekleri
- Aktif kısmın komple çok iyi sıkıştırılması, bu işte kullanılan çelik parçaların anti magnetik malzemeden seçilmesi

Enpay' da nüveleri üretilmiş olan bazı şönt reaktörlerin testlerinde ölçülen gürültü seviyeleri aşağıdaki tabloda görülüyor.

<u>Nominal güç MVA</u>	<u>Gerilim kV</u>	<u>Ölçülen ses seviyesi dB</u>	<u>Ölçüldüğü yıl</u>
122, 2	420	67, 6	2005
146, 6	420	66, 4	2005
75	400	72, 1	2005
18	161	74	2005
80	400	60	2010

Yukarıdaki ölçüm tablosunun son satırındaki testte vibrasyon seviyesi, reaktör üreticisi tarafından 200 mikron olarak garanti edilmişken, gerçekleşen değeri 12 mikron ölçülmüştür. (nüve üretim kalitesinde presizyon).

## **SONUÇ**

Radyal dizimli hava aralıklı modern reaktörlerde kalitenin sağlanması için gerekli şartlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Nüve saçları hassas ve çok küçük toleranslarda kesilmelidir.
- Radyal dizim tekniği yüksek demir doldurma faktörünü sağlamalıdır, dizim şekli bilgisayar programı ile tayin edilir.
- Paketlerin empenye işleminde uzun yılların deneyimi şarttır.
- Seramik üreticileri ile yakın ilişki ve kalite takibi gereklidir.
- Nüvenin montajında gürültü ve titreşimin minimize edilmesi için gerekli titizlik ve bilgi birikimi çok önemlidir.

ENPAY 20 yıldan fazla bir zamandır çok değişik tipte reaktör nüvelerini yüksek teknolojisiyle üretmekte, global reaktör ve trafo sanayicilerine ( mühendislik hizmeti dahil) yardımcı olmaktadır.

## **SHÖNT REAKTÖRLER İÇİN ULUSLAR ARASI STANDARTLAR**

- IEEE C57.117 Guide for Reporting Failure Data for Power Transformers and Shunt Reactors on Electric Utility Power Systems
- IEEE C57.21 Requirements, Terminology and Test Code for Shunt Reactors Over 500 KVA
- IEEE C37.015 Application Guide for Shunt Reactor Switching

- IEEE C57.136 Guide for Sound Level Abatement and Determination for Liquid-immersed Power Transformers and Shunt Reactors Rated Over 500 KVA
- IEEE C37.109 Protection of Shunt Reactors
- IEEE C57.113 Guide for Partial Discharge Measurement in Liquid –filled Power Transformer and Shunt Reactors
- IEEE C57.125 Guide for Failure Investigation, Documentation, and Analysis for Power Transformers and Shunt Reactors
- IEEE 1080 Guide for the protection of Shunt Reactors
- IEC 1989:1991 Separating Transformers, Autotransformers and reactors
- IEC 289 Reactor
- VDE 0565 Teil 2-2 Drosseln zur Unterdrückung elektromagnetischer stönungen
- IEC 60076-1 Power Transformers Part 1: General
- IEC 60076-2 Power Transformers Part 2: Temperature Rise
- IEC 60076-3 Power Transformers Part 3: Insulation Levels, Dielectric Tests and External Clearances in Air
- IEC 60076-4 Power Transformers Part 4: Guide to the Lightning Impulse and Switching Impulse Testing – Power Transformers and Reactors
- IEC 60076-5 Power Transformers Part 5: Ability to Withstand Short Circuit
- IEC 60076-10 Power Transformer Part 10: Determination of Sound Levels
- IEC60672-3 Ceramic and glass-insulating materials Specifications for individual materials

## **BIBLIOGRAPHY**

- [1] S.Yurekten, New Trends in UHV Shunt Reactor Core Technology,  
a) Travek Moscow 2011, Russia  
b) Gridtech 2011 New Delhi, India, International Conference on New Technologies in Transmission, Distribution, Load Despatch & Communication
- [2] K.Eckholz, S.Yürekten 'Shunt reactor cores up to 800 kV- 300 MVar' (ARWtr 2010- Spain, Advanced Research Workshop on Transformers)
- [3] S.Yürekten 'Shunt Reactors' (Travek VII. International Scientific and Technical Conference Large Power Transformers and Diagnostics Systems, Moscow, 2010)
- [4] N.Takahashi, T.Nakau, D.Miyagi, S.Nogawa, M.Kuwata.'3-D Eddy Current Analysis of Bevel Edge Core reactor using modeling technique of laminated steel' (IEEEJ, 2008)
- [5] M.Tavakoli Bina, G.N.Alexandrov, M.Golkhah. 'An introduction to the CSCT as a new device to compensate reactive power in electrical Networks' (WCECS 2008, USA)
- [6] G.N.Alexandrov, energy transmission by AC current 1997
- [7] C.Bengtsson, J.Anger, J.Forslin and K.Olsson.' Field performance and sound of shunt reactors in service" (Cigre 2008, A2-306)