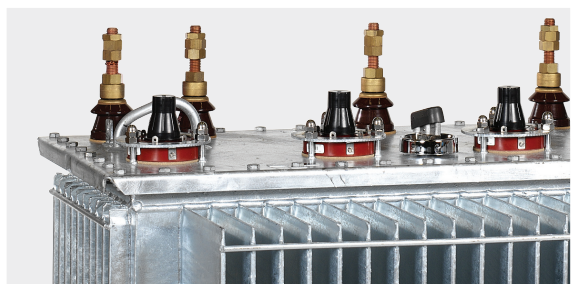




# Oljetransformatorer

Installation – Drift – Underhåll



# Innehållsförteckning

<b>1. Installation – Checklista</b>	<b>sid. 3</b>
1.1 Lyft av transformatorn	
1.2 Kontroll vid mottagning	
1.3 Utrustning	
1.4 EMC (elektromagnetisk kompatibilitet)	
1.5 Anslutning av transformatorn	
1.6 Spänningsnivå och fasföljd	
1.7 Skruvanslutning	
<b>2. Underhåll</b>	<b>sid. 4</b>
2.1 Rengöring	
2.2 Kontroll av oljekvaliteten	
2.3 Transformator i nätstation	
<b>3. Felsökning</b>	<b>sid. 5</b>
3.1 Skadad transformator	
3.2 Påfyllning av olja	
3.3 Läckage i packningar	
3.4 Felsökning vid larm och urkoppling	
<b>4. Bullernivåer i transformatorer</b>	<b>sid. 8</b>
4.1 Orsak till buller	
4.2 Bullerdämpande åtgärder	
4.3 Normer	
<b>5. Olinjär last – harmoniska övertoner</b>	<b>sid. 8</b>
5.1 Tomgångsförlust – Förlust i kärnan	
5.2 Belastningsförlust – Förlust i lindningar och ledare	

# 1. Installation – checklista

## 1.1 Lyft av transformatorn

Transformatorn kan lyftas med truck eller med hjälp av lyftöglor på transformatorns lock. Vinkeln mellan lyftstropp/vajer och lodlinjen ska vara mellan 20 och 30 grader. Om transformatorn är utrustad med ett expansionskärl måste det kontrolleras att lyftutrustningen inte kommer i kontakt med denna.

## 1.2 Kontroll vid mottagning

Kontrollera strax efter att transformatorn har tagits emot att ytbehandlingen, porslinsdelarna och annan utrustning inte har skadats under transporten och att alla packningar är täta. Kontrollera att oljenivån i eventuellt EXPANSIONSKÄRL ligger vid märket för 20 °C.

Om transformatorn är av typen hermetiskt sluten får den inte öppnas förrän kapitel 3 och punkt 1.3.3 har lästs igenom. Hermetiskt slutna transformatorer är helt fyllda med olja och expansionen omhändertas av den elastiska rörelsen i kylflänsarna. Det ska INTE utföras någon kontroll/mätning av oljenivå. **Lossa inte mer än en av lockets skruvar åt gången vid fastsättning av utrustning.**

## 1.3 Utrustning

### 1.3.1 Visartermometer med två kontakter AKM 44622, BSP 1” (3/4”)

- Kontrollera att termometerfickan är fylld med olja. Se kretsschema för närmare information om anslutningen.
- Maxvärdesvisaren (röd pil) kan återställas med en utvändigt knapp.
- Inställningen vid leverans från fabrik är: 90 °C för larm (blå pil) och 105 °C för urkoppling (gul pil).
- Max. inställning, temperaturklass A är: 100 °C larm och 115 °C urkoppling.
- K-olja (FR3), temperaturklass B är: 105 °C larm och 120 °C urkoppling.
- Max. inställning, temperaturklass B är: 115 °C larm och 130 °C urkoppling.

### 1.3.2 Montering av torkapparat med kiselgel (kiselsyrage/silikagel) för transformatorer med expansionskärl

Den minsta typen av torkapparat skruvas fast i expansionskärlens påfyllningshål när luftningspluggen tas bort. Om expansionskärllet är försett med ett rör som är nedböjt från påfyllningshålet, ska torkapparaten skruvas fast på änden av röret. Torkapparaterna är generellt sett konstruerade för stående montage.

### Äldre typ av torkapparat:

- Lossa vingmuttrarna några varv så att plexiglasbehållaren kan dras ut åt sidan.
- Om kiselgel inte redan är påfyllt ska detta göras nu. Tappa lite olja från avtappningspluggen på **expansionskärllet**. Oljan fylls i oljelåset. Se upp så att det inte hamnar någon olja på kiselgelet.
- Kontrollera alla packningar och skruva ihop torkapparaten igen.

### Ny typ av torkapparat:

Torkapparater av nyare typ, t.ex. E 1 S har ett mekaniskt låssystem (inte oljelås). Mängden kiselgel är beräknad för cirka ett års drift. Se även punkt 2.2.2 under Underhåll

### 1.3.3 Gasvakt

(Om transformatorn är hermetiskt sluten, se punkt 3.4)  
Om transformatorn har ett expansionskärl ska gasvakten monteras så att pilen på gasvaktens lock pekar mot expansionskärllet. Utlösningskontakterna 1–2 reagerar vid en plötslig tryckstegring, närmare bestämt en oljerusning på över 1 m/s. På en hermetiskt sluten transformator kommer detta feltillstånd att tas om hand av en eventuell tryckvakt eller av packningar på locket, inte av gasvakten. Gasvakten har ett inspektionsglas graderat i cm<sup>3</sup> och det avges en signal, kontakt 3–4, om det ansamlas gas eller oljenivån sjunker under denna nivå.

- 120–180 cm<sup>3</sup> gas leder till en signal/ett larm. Kontakt 3–4.
- 250 cm<sup>3</sup> gas leder till urkoppling. Kontakt 1–2.

Kontakterna kan bryta 3 A vid 220 V likström och 5 A vid 220 V 50 Hz.

På gasvakten finns det en ventil för luftning och en tryckknapp för test av signal- och urkopplingskontakterna. Om transformatorn är hermetiskt sluten och det finns luft eller gas i gasvakten, se punkt 3.4. **Transformatorn ska vara varm, cirka 60 °C, innan gasvakten ”luftas”.**

Om transformatorn är utrustad med ett KOMBINERAT GAS-TRYCK-TEMPERATUR-RELÄ, till exempel DGPT, se aktuell kopplingschema och aktuell bruksanvisning.

### 1.3.4 Tryckvakt

Om transformatorn har 1 tryckvakt (1 kontakt) rekommenderas en övertrycksinställning för signal på 0,3 bar. Om den har 2 tryckvakter (2 kontakter) kan inställningarna för signal/urkoppling sättas till 0,30 respektive 0,35 bars övertryck. Konsekvenserna vid driftsavbrott måste tas med i bedömningen, men 0,5 bars övertryck får inte överskridas. Hermetiskt slutna transformatorer kommer vid full last och en omgivningstemperatur på

20 °C att ha ett övertryck på mellan 0,1 och 0,2 bar under normala förhållanden och linjär belastning (se kapitel 5 för olinjär belastning).

(Mätt på 500 kVA med Al-lindningar: 0,11 bar med mineralolja och 0,13 bar med silikonolja.)

## 1.4 EMC (elektromagnetisk kompatibilitet)

EN 61000 (IEC 61000), elektromagnetisk kompatibilitet.

### 1.4.1 Transformatorns placering, förluster och magnetfält

Transformatorn ska placeras horisontellt. Kraftiga magnetfält uppstår till följd av starka strömmar, som är i storleksordningen några hundra ampere och uppåt. Åtgärder för att minska magnetfälten från transformatorrummet kan komma att öka förlusterna i systemet, så man får göra en bedömning av vad som är nödvändigt att lägga vikt på. Ska människor vistas i rummen intill och/eller finns det datorer där?

I fråga om distributionstransformatörer är det lågspänningsskenorna och eventuellt lågspänningsskablar som skapar betydande magnetfält.

Själva transformatorn ger ett mindre bidrag, enligt nedan. Det man vet med säkerhet är att magnetfältet (fältstyrkan) avtar snabbt när avståndet från ledningarna ökar. Fältstyrkan kan även minskas genom att skenor och transformatorer kapslas in (i metall) och genom att avståndet mellan samlingsskenorna minskas. Att placera kablar med bästa möjliga symmetri minskar också läckfältet. Betong ger en viss dämpning, men inte mycket.

Vertikala samlingsskenor med ett avstånd på 5 cm ger cirka 1 mikrotesla per kA (1 000 ampere) på ett avstånd på 4–5 meter. Om avståndet mellan samlingsskenorna ökas till 20 cm kommer man att kunna mäta upp 1 mikrotesla 9 meter bort.

Mätning på transformatorer med märkströmmen 1 200 ampere, avstånd = 2 m.

- Oljetransformator: 1 mikrotesla (= 0,8 A/m [ampere/meter])
- Skena: 20 mikrotesla

Riktlinjerna för 50 Hz med hänsyn till allmän elektronik, till exempel it-lokaler, datorhallar och telefoncentraler, är maximalt 1,2 mikrotesla (= 1,0 A/m).

EN 50082-1 Elektromagnetisk kompatibilitet – Immunitet, Generella fordringar på utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer: 1,0 A/m.

EN 50082-2 Elektromagnetisk kompatibilitet – Immunitet, Generella fordringar på utrustning i industrimiljö: 30 A/m (50 Hz).

EN 50082-2 anger även immunitetsgränser för radiofrekvenser i MHz-området.

EN 50081-1 och -2 Elektromagnetisk kompatibilitet – Emission, till exempel från en transformator, gränsvärden är för närvarande inte satta.

## 1.5 Anslutning av transformatorn

Se till att alla säkerhetsföreskrifter och driftsinstruktioner följs noggrant, vilket innefattar jordning av alla anläggningsdelar, kablar, genomföringar och behållare/kapslingar. Kablar och skenor som ansluts till transformatorn ska dras på ett sådant sätt att genomföringar och packningar inte utsätts för vridande krafter eller andra krafter som kan leda till läckage.

## 1.6 Spänningsnivå och fasföljd

Kontrollera spänningsnivån och fasföljden och jämför med typskylten och kopplingsschemat. VIKTIGT! Högspänningsskopplaren kan bara manövreras i spänningslöst tillstånd. Handtaget dras moturs för att öka sekundärspänningen.

## 1.7 Skruvanslutning

Skruvanslutningar och tillhörande moment för olika material och skruvdimensioner anges på följande ritningar: T65459, T65460, T65461, T65462, T65463.

# 2. Underhåll

## 2.1 Rengöring

Underhållsintervallet bestäms efter behov och beror på omgivningen och miljön.

Rengöring en (1) gång per år ger normalt en god driftsäkerhet (tillförlitlighet).

En trasa och varmt vatten räcker bra i de flesta fall, såvida inte transformatorn står i en industrimiljö med korrosiv atmosfär. I sådana fall kan kemikalier eller såpa användas.

Det är viktigt att få bort damm, smuts, salt, fett etc. från isolatorerna.

## 2.2 Kontroll av oljekvaliteten

### 2.2.1 Transformator med expansionskärl

- Kontrollera oljenivån i expansionskärlet, men vänta med eventuell påfyllning.
- När oljan är ny är den klar eller ljusgul, men med tiden ger oxidationen oljan en allt mörkare färg. Detta är normalt om det sker gradvis över tid.
- Oljan har en viss förmåga att ta upp vatten. I expansionskärlet kyls oljan ned. Om det finns upplöst vatten i oljan kommer vattnet att kondensera till mikroskopiska droppar, som sedan slår sig samman till synliga droppar. Vatten är tyngre än olja och kommer därför att lägga sig som synliga bubblor i botten av expansionskärlet.
- Normalt kan vattnet avlägsnas genom att pluggen/kranen under expansionskärlet öppnas. Vid behov går det att ta bort inspektionsglaslet/-glasen och göra rent invändigt med en trasa. Fyll på ny olja.

### 2.2.2 Torkapparat med kiselgel

Kiselgel har förmåga att absorbera fukt från luft och ändrar då färg enligt följande:

#### Orange sort

Orange = Helt torrt

Ljusorange = Delvis mättat med vatten

Genomskinligt = Helt mättat med vatten

#### Blå sort

Blått = Helt torrt

Ljusblått = Delvis mättat med vatten

Ljusrött = Helt mättat med vatten

Kiselgelet kan lätt tas ut (se punkt 1.3.2) och torkas vid en temperatur på maximalt 130 °C för blå sort och 130–160 °C för orange sort. Kiselgel av blå sort kan ta upp 20 viktprocent vatten, medan den orangea sorten kan ta upp 40 viktprocent vatten.

Vid användning av en torkapparat med oljelås ska det kontrolleras att det finns olja i låset så att kiselgelet inte kommer i direkt kontakt med omgivningen.

### 2.2.3 Hermetiskt slutna transformatorer

Kontroll av oljan ska inte utföras annat än vid fel (se punkt 3.4.1) och reparation.

## 2.3 Transformator i nätstation

### 2.3.1 Luftfilter

Det sitter filter i väggarna. I varje ände av transformatorn finns det luftintag och vid taket går luften ut.

Kontrollera om filtren är smutsiga; detta bör under alla förhållanden göras om transformatorn ska lyftas ut ur nätstationen. Filtren är tillverkade av syntetiska fibrer och kan tvättas eller helt enkelt slås rena.

Filtertypen är normalt Viledon PBS/290 S, som har testats enligt DIN 24185.

### 2.3.2 Byte av transformator

- Nätstationen kopplas bort från elnätet.
- Följ alla säkerhetsföreskrifter och driftinstruktioner rörande jordning av ALLA inkommande kablar och ledningar.
- Skruva av lyftöglorna på taket till nätstationen och ta bort taket.
- Lossa transformatorn och hissa upp den 10–20 mm. Ta bort metallstöden genom att skjuta dem åt sidan, så att transformatorn kan lyftas ut. Gör sedan installationen i omvänd ordning.

## 3. Felsökning

### 3.1 Skadad transformator

Om transformatorn har skadats så att den behöver öppnas, se dokumentet T76442 vägledning om påfyllning av olja och eventuell kontroll/eventuellt byte av högspänningsgenomföringen.

Det är viktigt att högspänningsgenomföringen är helt fylld med olja, då det annars kan uppstå problem med störningar i form av urladdningar (glimurladdningar) och radiostörningar, se punkt 1.4 EMC.

Det ska vara rätt oljemängd i behållaren. Se punkt 1.2 för expansionskärl och nedan för hermetiskt slutna behållare.

### 3.2 Påfyllning av olja

#### 3.2.1 Transformator med expansionskärl

Påfyllning av olja kan ske genom expansionskärlet. När påfyllningen är klar ska transformatorn lyftas och skakas lätt i den ände där expansionskärlet är monterat, för att släppa ut luft

som har blivit liggande under locket. Kontrollera att högspänningssgenomföringarna (porstin) är helt fyllda med olja.

### 3.2.2 Hermetiskt slutna transformatorer

Oljefyllning av hermetiskt slutna transformatorer görs säkrast hos tillverkaren genom vakuumfyllning. Detta gäller särskilt om transformatorn har gasvakt.

Eventuell kvarvarande luft kan utlösa oönskade larmsignaler om denna typ av service görs i anläggningen. Om arbetet trots detta ska utföras i anläggningen, ska instruktionerna nedan följas.

Påfyllning av en hermetiskt slutna transformator ska göras genom påfyllningsröret. Dessutom ska en av högspänningssgenomföringarna fyllas om de inte är pluggbara. Minimitemperaturen för oljan är 20–30 °C vid påfyllning.

Nedan finns information om önskvärd temperatur. Lyft och skaka lätt på transformatorn med lyftstropp/vajer i lyftöglan, eller via lyftpunkten för domkraft under trallan/stålbalkarna, i den ände där påfyllningsröret eller eventuell gasvakt sitter, så att luft som hamnat under locket kommer ut. Sätt fast en 1"-plugg med packning och skruva åt ordentligt.

Om transformatorn har tappats på olja så att lindningarna har varit i kontakt med luft, måste transformatorn vakuumfyllas eller stå i minst ett dygn innan den spänningssätts eller spänningstestas.

Om isolering eller lindningar byts ut, måste dessa torkas i minst 24 timmar vid 90–100 °C innan olja fylls på.

Om hela transformatorn torkas rekommenderas 48 timmar vid 90–100 °C när vakuumtorkning inte används.

Om toppoljetemperaturen är lägre än 60 °C när transformatorn öppnas eller ett läckage inträffar, kommer behållaren att ta in luft på grund av undertryck.

Transformatorn fylls vid 35–40 °C hos tillverkaren. Transformatorn kan exempelvis köras på tomgång eller med låg belastning för att få upp oljenivån igen och korrekt genomsnittlig oljetemperatur. Ett annat alternativ är att använda värmefläktar. Oljans utvidgning som funktion av temperaturen:

- Mineralolja kg x 0,00075 = liter per grad Celsius  
0,89 kg/liter
- Silikonolja kg x 0,001 = liter per grad Celsius  
0,97 kg/liter
- FR3-olja kg x 0,00074 = liter per grad Celsius  
0,92 kg/liter

### 3.2.3 Hermetiskt slutna transformatorer med den naturliga esteroljan FR3, jämfört med användning av andra oljor

Miljöoljan Envirotemp FR3 är en naturlig esterolja. FR3-oljan är klar, luktfri och ljusgrön till färgen. 98,5 % av oljan är växtbaserad olja. Resterande 1,5 % är antioxidant, färgämne och tillsats för reduktion av viskositeten vid låga temperaturer. FR3-oljan

stelnar vid –21 °C. Om man jämför kallstart av en FR3-transformator med en transformator med mineralolja, kommer det att förekomma övertemperaturer i FR3-transformatorn i högre utsträckning än i transformatorn med mineralolja under de första tre timmarna. Tester av detta är utförda vid kallstart med temperaturen –30 °C.

Detta kortvariga temperaturuppsving kommer att ligga cirka 30–40 °C högre än vad som är fallet vid användning av mineralolja. Eftersom omgivningstemperaturen är så låg kommer det dock inte att uppstå några hotspottemperaturer som är farliga för pappersisolationerna i transformatorn. Den elektriska hållfastheten bevaras även om oljan stelnar till geléform vid låga temperaturer under –21 °C.

**FR3-oljan är i sig själv ofarlig för miljön. Inga hälsofaror har uppgetts.**

Trots detta ska all använd transformatorolja av säkerhetsskäl behandlas som farligt avfall (tidigare definierat som specialavfall). Även om en ny transformator är plomberad finns det ingen garanti för vad som kan ske i samband med underhåll eller vid ett eventuellt ägarbyte, till exempel kan olja fyllas på. Gammal transformatorolja kommer, speciellt i öppna system med expansionskärl, att innehålla slam och materialrester till följd av oxidering och nedbrytning av material. Erfarenheten har visat att aluminiumlindningar håller isolationssystemet renare än kopparlindningar.

När mineralolja åldras/oxiderar bildas det syror som är förhållandevis aggressiva. Detta kan leda till att belägg bildas på lindningarna, vilket försämrar kylningen och verkar korroderande. I FR3-olja bildas det minimalt med syror och slam när oljan åldras. De syror som bildas är dessutom mycket mindre aggressiva än de som bildas när mineralolja åldras.

**FR3-olja är den transformatorolja som ger minst föroreningar i jord och vatten vid eventuellt läckage, enligt vår synpunkt.**

Hermetiskt slutna transformatorer minskar oxideringen och bildandet av syror generellt, i alla typer av transformatorer. Eftersom FR3-oljan är biologiskt nedbrytbar vid tillförsel av syre måste isolationssystemet vara hermetiskt slutet.

För transformatorer med expansionskärl och andra typer av transformatorer där oljan kommer i direkt kontakt med luft, rekommenderas därför inte FR3-olja. I samband med underhåll av transformatorer rekommenderas det att oljan helst inte ska exponeras för luft under mer än två veckor.

Det kommer dock inte att kunna uppmätas några förändringar av oljans förlustfaktor förrän den har stått öppet i ett helt år ifall ytan som exponeras för syre är liten, till exempel via en luftningsplugg eller ett påfyllningsrör.

Silikonolja är inte blandbart med andra transformatoroljor. Även små rester av silikonolja i andra oljor kan leda till skumning under vakuumfyllning eller i förbättringsanläggningar. FR3-oljan är blandbar med mineralolja och exempelvis syntetiska estrar. Om man vill byta olja till FR3 bör man dock vara medveten om att antändningspunkten faller om FR3-oljan innehåller mer än 7 % mineralolja.

### 3.3 Läckage i packningar

#### 3.3.1 Omkopplare

Om transformatorn läcker vid omkopplarhuset, se dokument T69478. Nippeln i position 2 kan dras åt, men inte för hårt då detta kan låsa axeln så att omkopplarhuset blir svårt att manövrera. Om omkopplarhuset är i det översta läget och det behövs en smula kraft för att dra ned handtaget är nippeln lagom åtdragen. Använd 2–3 droppar smörjolja på omkopplarhuset.

#### 3.3.2 Lockpackning

Om lockpackningen inte är tät, kontrollera lockets skruvar på följande sätt: Håll fast muttern (M10) för en av hörnskruvarna med en fast nyckel och tillför momentet 40 Nm (4 kpm) på skruvhuvudet. Upprepa detta systematiskt skruv för skruv. Kontrollera dem sedan en gång till.

### 3.4 Felsökning vid larm eller urkoppling

Om transformatorn har varit öppnad, expansionskärlet har varit demonterat eller det till exempel har skett ett isolatorbyte, kan det finnas luft i gasvakten. Det är en stor fördel om i synnerhet transformatorer med gasvakt fylls med olja hos tillverkaren, så att detta sker under vakuum. Om detta inte är möjligt, prova att "skaka" ut luften genom att lyfta transformatorn och leda luften mot gasvakten.

#### 3.4.1 Analys av oljan

Oljefyllda transformatorer kommer under drift alltid att bilda gaser, som en följd av naturligt åldrande hos oljan och andra isolationsmaterial. Vid normala driftsförhållanden kommer gasmängderna att vara mycket små och gaserna kommer att lösas i oljan allt eftersom de bildas. **Så länge gaserna är upplösta i oljan utgör de i sig själva ingen explosionsfara.**

När isolationsmaterial som olja, papper och presspan överhettas till följd av urladdningar och fel, kommer det att ta ett tag innan oljan blir övermättad med gas och bubblor börjar stiga upp och samlas i gasvakten. Stora och plötsliga fel kan leda till momentan urkoppling via gasvakten, men detta är en ovanlig feltyp.

Om transformatorn avger en signal för hög temperatur utan att transformatorn körs med överlast och/eller det kommer en signal från gasvakten, rekommenderas det att analysera oljan såvida orsaken inte är harmoniska övertoner/olinjär last, se kapitel 5.

Innehållet av eventuella gaser i oljan kan ge information om orsaken till felet.

Oljeprov kan tas via avtappningskranen i botten av transforma-

tor. Tappa försiktigt ut lite olja. Tänk på att hermetiskt slutna transformatorer kan suga in luft om oljetemperaturen är under 40 °C och undertryck uppstår. Se punkt 3.2.2. Vid mätning av förlustfaktorn i vegetabiliska oljor som FR3 måste man vara medveten om att de har en naturligt högre förlustfaktor än mineralolja.

#### 3.4.2 Gasanalys

Så kallad brännbarhetsprovning har ibland använts, men rekommenderas inte på grund av att flera feltillstånd inte ger upphov till brännbara gaser och att det kan bli för lite gas för en fullvärdig gasanalys.

#### GASENS EGENSKAPER

- Färglös och luktfri, inte brännbar
- Vitaktig, stickande lukt, inte brännbar
- Tjock och gulaktig, inte brännbar
- Grå eller svart, brännbar

#### URSPRUNG

- Luft
- Gas från papper, bomull eller isolationsmaterial som överhettats
- Gas från överslag i trä
- Gas från sönderdelad olja

#### TYP AV GAS

- Väte
- Eten, etan
- Väte, eten, acetylen
- Kolmonoxid/koldioxid

#### ORSAK

- Partiella urladdningar, glimurladdningar
- Överhettad olja
- Ljusbågar, överslag
- Nedbrytning av presspan/papper

Kombinationer av gaser och mängdförhållanden kan ge indikationer om felet. Det finns många olika analysmetoder: Normer: 2001 års utgåva av den norska standarden NEK 240-1 "Isolerolja – Kvalitative krav, övervakning og vedlikehold". Olika prov utförs av laboratorier, oljebolag och forskningsinstitut som SI och SINTEF-EFI.

## 4. Bullernivåer i transformatorer

### 4.1 Orsaker till buller

När kärnan utsätts för magnetiska fält genomgår kärnplåten en längdförändring som kallas magnetostriktion. Detta leder till ett brummande ljud med en frekvens som är den dubbla nätfrekvensen. 100 Hz är den dominerande bullerkällan, med starka övertoner på framför allt 200 Hz och 300 Hz. Utrustning på eller i närheten av transformatorn kan sättas i resonans med de primära svängningarna och fullständigt överrösta den primära bullerkällan.

### 4.2 Bullerdämpande åtgärder

Om transformatorn låter mycket bör man först kontrollera alla skruvar och anslutningar av utrustning. Eventuella lösa kärnplåtar kommer i de flesta fall att upptäckas under tillverkarens rutinprov, då de avger ett karakteristiskt hårt ljud.

Man kan likaså prova att dämpa bullret genom att montera transformatorn på ett fjädrande underlag, använda vibrationsdämpare och eventuellt även använda flexibla skenanslutningar.

Den specifika dämpningen via väggmaterialen är relativt begränsad vid låga frekvenser, men dämpningen är proportionell mot dämpningsmaterialets täthet. Använd med andra ord tunga material för att öka dämpningen.

### 4.3 Normer

Transformatorbuller mäts enligt IEC 60076-10, på flera mät-punkter runt transformatorn och på ett avstånd på 30 cm eller 1 m. Hänsyn tas till rummets utformning och bakgrundsbullret. I EUROPEISK STANDARD EN 50588-1 definieras kraven på bullerdämpning och akustiskt buller (ny version 2015).

- $L_{wA}$  = Ljudeffektnivå för ljudet som avges (referens 1 m<sup>2</sup> och 10-12 W)
- $L_{pA}$  = A-vägd ljudtrycksnivå (referens 20 mikroPa)
- $L_{iA}$  = Ljudintensitet, W/m<sup>2</sup>, två mikrofoner, hänsyn till ljudets riktning

## 5. Olinjär last – harmoniska övertoner

Förlustmätningar och värmeprov är baserade på 50 Hz sinusformad last. En total förvrängning av sinuskurvan på 5 % tillåts. Om transformatorns belastning exempelvis innefattar datorer och/eller frekvensstyrning av motorer kommer förvrängningen att bli mycket större.

Hur mycket detta belastar transformatorn beror på distributionssystemet, kopplingsgruppen och om olika typer av filter är installerade.

### 5.1 Tomgångsförlust – förlust i kärnan

Vid denna typ av last är 50 Hz fortfarande den fundamentala frekvensen och den som bestämmer kärnans magnetiska flödestäthet. När högre frekvenser överlagras på 50 Hz kommer detta att leda till en ökning både av tomgångsförlusten och av belastningsförlusten.

Tomgångsförlusten  $P_0$  utgörs av hysteresförlusten  $P_h$  och virvelströmsförlusten  $P_v$ .

$f$  = frekvens,  $k_f$  = formfaktor

$$P_0 = P_h + P_v = k_1 \cdot f \cdot B_{1,6} + k_2 \cdot f^2 \cdot (k_f \cdot B)^2$$

$B$  = magnetisk flödestäthet,  $k_1$  och  $k_2$  = konstanter

Vi ser att hysteresförlusten ökar linjärt med frekvensen och att virvelströmsförlusten ökar med kvadraten på frekvensen. Det är inte ovanligt att en transformator har en magnetisk flödestäthet på mellan 1,7 och 1,8 tesla under drift. Kärnan går i mättnings vid cirka 2 tesla.

Harmoniska övertoner i lastströmmen läggs samman till amplitudvärden och kan, beroende på impedansen, medföra att det magnetiska flödets amplitudvärden stiger så att kärnan går i mättnings och ytterligare förvrängning och varmgång uppstår.

### 5.2 Belastningsförlust – förlust i lindningar och ledare

Om högre frekvenskomponenter belastar transformatorn kommer detta att öka virvelströmsförlusterna i lindningar och inkommande ledare (liksom i metalliska konstruktionsdelar).

Skineffekten (strömförträngningen) ökar med frekvensen och högfrekventa strömmar kan skapa betydande tilläggförluster även vid låga amplitudvärden, i och med att virvelströmsförlusterna ökar med kvadraten på frekvensen.

Elektronisk utrustning, som datorer, har en smal och pulserande strömförbrukning. Detta skapar generellt sett 3:e övertonen och multipler av denna (i mindre grad 5:e och 7:e) Om man har ett



TN 3-fassystem med lasterna liggande mellan fas och neutralledare, kommer 3:e övertonens strömmar att uppträda samtidigt i de tre faserna och adderas ihop i neutralledaren.

Även om lasten är väl balanserad mellan de tre faserna, kommer den 3:e övertonens ström i neutralledaren att kunna bli 1,73 gånger strömmen i faserna. Det finns olika typer av filter som förhindrar denna extra belastning av transformatorn.

Med ett IT 3-fassystem och balanserad last mellan faserna kommer den 3:e övertonens strömmar att cirkulera mellan lasterna, som är triangelkopplade, och därmed belastas inte transformatorn.

Frekvensomriktare för motorstyrning produceras ofta med 6- eller 12-pulsdrift

Dessa genererar huvudsakligen harmoniska övertoner som utgörs av antalet pulser  $\pm 1$ . Det vill säga: 6-pulsomriktare genererar 5:e och 7:e övertonen. 12-pulsomriktare genererar 11:e och 13:e övertonen.

Köpare av transformatorer för denna typ av last kan vanligtvis uppge vilken överdimensionering av prestandan som är nödvändig. Induktionsen reduceras i förhållande till en transformator

som är konstruerad för linjär last. Maximal induktion väljs baserat på kärnplåtens kvalitet och tjocklek. Tunnare kärnplåt minskar virvelströmsförlusterna.

Lastreduktionsfaktorn för transformatorn kan beräknas om mängden och typen av harmoniska övertoner är känd. Man behöver veta vilka de harmoniska övertonerna är och hur stora de är i procent av grundtonens ström vid olika lastpådrag. Detta kan mätas med hjälp av en övertonsanalysator och ett oscilloskop.

Det finns även multimetrar på marknaden som kan mäta så kallad "TRUE-RMS". (T-RMS) THDF

(Transformer Harmonic Derating Factor) definieras som:  
 $1,414 * (\text{"TRUE-RMS"-fasström}) \text{ THDF} =$

#### -----

#### Momentant amplitudvärde på fasströmmen

Om faserna är ojämnt belastade används genomsnittsvärden av sant effektivvärde ("TRUE-RMS") respektive amplitudvärden.

Typiska värden för denna faktor är 0,5–0,9.



KL Industri AB  
Box 2039, 612 02 Finspång  
Tel +46 122 243 00 Fax +46 122 501 02  
[www.kl-industri.se](http://www.kl-industri.se)

#### **KL Industri AB® ingår i koncernen Møre Electric Group AS.**

Koncernen bildades år 2000 genom ett avtal mellan Møre Eiendom (idag Rieve Gruppen AS) och det franska börsnoterade företaget Schneider Electric. Genom att slå samman sina respektive dotterbolag Møre Trafo AS och KL Industri AB, var en av målsättningarna med samarbetet att stärka marknadspositionen på energi-marknaden i Norden. Schneider Electrics nordiska säljorganisation är en strategisk partner för att komplettera produktsortimentet, allt för att företagen i koncernen skall framstå som den bästa möjliga total leverantören.

Genom kundorienterade marknadsstrategier, spetskompetens, hög kvalitet på det vi producerar och lokal förankring är målsättningen att vara marknadsledare på våra kärnprodukter i Norden. Lokal förankring, aktiv kundservice och rätt kvalitet på det vi producerar skall ge våra kunder mervärden. Møre Electric Group skall igenkännas av en samarbetsorienterad företagskultur präglad av hög effektivitet i alla led och långsiktigt värdeskapande. Vi skall vara flexibla för att uppfylla våra kunders förväntningar och utveckla nya lösningar i samarbete med dem.

Både Møre Trafo och KL Industri har över lång tid funnits på den nordiska marknaden och är båda starka varumärken. Detta önskar vi att utveckla vidare.