

# Mätning av krafttransformatorers nollföljdsimpedans

Jasmin Selimovic, IEA, LTH

**Sammanfattning**—Arbetet visar att nollföljdsimpedansen i Yyn-kopplade transformatorer inte är oändlig så som alltför många läroböcker visar. Vid fas-till-jord fel tvingas nollföljdsflödet ut i luften och transformator kärlet vilket kraftigt påverkar nollföljdsimpedansens storlek. Till följd av detta bör nollföljdsimpedansen mätas upp på plats och efter installation för att erhålla ett noggrannare resultat. Mätresultaten för transformatorns nollföljdsimpedans ger viss osäkerhet som gör det svårt att dra definitiva slutsatser.

## I. INTRODUKTION

I det E.ON sponsrade forskningsprojektet, DLAB, vid avdelningen för Industriell Elektroteknik och Automation vid LTH undersöks inverkan av ökad kablföring i distributionsnätet. Inom ramen för projektet byggdes även en modell av ett litet distributionsnät. Modellen användes för att simulera ett spoljordat distributionsnät. Spoljordning sänker strömmen i felstället genom att kompensera de kapacitiva felströmmarna.

Elnätets jordning har stor påverkan på felbortkopplingen, där syftet med jordningen är att minimera strömmen i felstället. I svenska mellanspänningsnät används oftast en central Petersenspole som ställs in för att kompensera mot kapacitiva felströmmar i ledningarna. Spole och nätkapacitanser bildar en resonanskrets som vid jordfel minimerar den reaktiva felströmmen och därmed bidrar till att ljusbågen självsläcks.

Vid beräkning av hur mycket central kompensering som skulle införas uppstod en osäkerhet. Osäkerheten kommer från att nollföljdsimpedansen hos vissa krafttransformatorer inte varit uppmätt. Detta gäller främst Yyn-kopplade transformatorer, dvs med uppsidans neutralpunkt isolerad. Kopplingsarten kommer, enligt vissa nyare läroböcker, att ge oändlig nollföljdsimpedans och därmed ingen nollföljdsström. Enligt den teorin skulle det vara riskfritt att komma i kontakt med utsatt del. I praktiken är inte detta sant, ett nollföljdsflöde kommer att slutas genom luften eller transformator kärlet. Detta leder till en högre nollföljdsimpedans än normalt men definitivt inte en oändlig impedans.

## II. METOD

Vanligtvis mäts transformatorns nollföljdsimpedans i fabriken genom ett tomgångsprov d.v.s en fas kopplas till transformatorns tre lindningar samtidigt som spänningsfallet och strömmen genom den mäts.

För att mäta transformatorns nollföljdsimpedans i drift behöver en nollföljdsspänning lägga sig över transformatorn. Detta

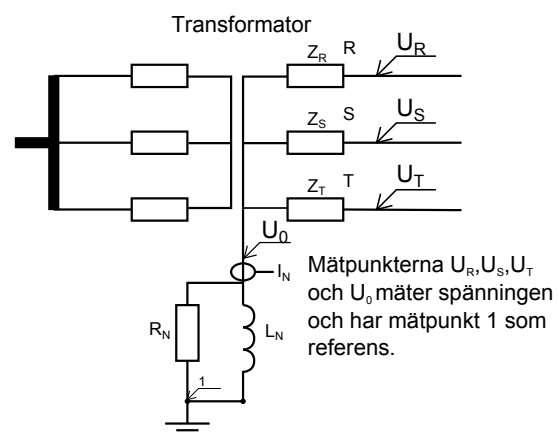
sker när transformatorn blir snedbelastad. Vid ett enfasigt jordfel lägger sig ett spänningsfall i nollföljd över transformatorn vilket kan då mätas. Mäts medelvärdet av de komplexa fasspänningarna fås nollföljdsspänningen efter transformatorn enligt teorin om symmetriska komponenter. Mäts samtidigt spänningen i nollpunkten fås nollföljdsspänningen innan transformatorn. Skillnaden mellan dessa ger nollföljdsspänningsfallet över transformatorn. Strömmen i nollpunkten fås enkelt genom att mäta spänningsfallet över ett mätmotstånd i serie med nollpunkten.

För att inte koppla bort transformatorn från nätet kan mätutrustning sättas på plats och registrera de önskade punkterna. Denna utrustning bör sitta där tills ett enfasigt jordtagsfel inträffar. Nackdelen med den här metoden är att ett fel inte nödvändigtvis inträffar inom en rimlig tid.

## III. URUSTNING

DLAB har utvecklat en mätbox som förutom att registrera störningar i nätet även kan användas för att mäta nollföljdsimpedansen. Mätboxen består utav

- National Instruments compactRIO enhet med 8 moduler
- LEM-strömsensorer
- 3G länk
- Applikationsmjukvara från DLAB AB

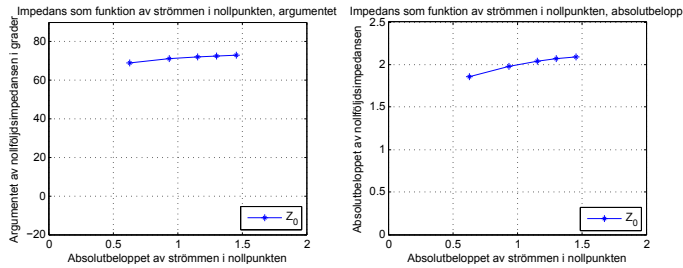


Figur III.1. Mätpunkter på transformator för fältmätning.

DLAB-mätbox kan sättas ut i en station under en längre tid där den kan registrera störningar samt för mätningen viktiga punkter. Mätpunkterna är: fasspänningar på transformatorns nedsida, spänningen i nollpunkten samt strömmen i nollpunkten enligt figur III.1.

## IV. RESULTAT

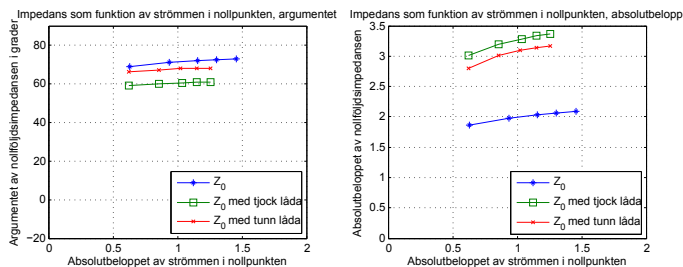
Mätningen automatiserades i programvaran för att underlätta förändring av parametrar. Spolen stämde av mot nätet manuellt och ett fel tillkopplades på en fas. Mätning av parametrar, som sparades, och beräkningar genomfördes. Spolens märkström ändrades och en ny mätning genomfördes. Fem mätningar genomfördes i en serie där spolens märkström ändrades från avstämd, ca 2 A, till ca 6 A. Högre strömmar riskerar att orsaka skada på modellen. Felmotståndet är satt till noll ohm om inget annat anges.



Figur IV.1. Argumentet och absolutbeloppet av transformatorns nollföljdsimpedans.

Resultatet från mätningen kan ses i figur IV.1 där den vänstra grafen visar nollföljdsimpedansens vinkel och den högra grafen visar dess absolutbelopp som funktion av strömmen i nollpunkten. Felmotståndet var satt till noll ohm och matningsspänningen till 100 V. Tas impedansens medelvärde vid alla mätpunkter fås  $Z_0 = 0,621 + 2,00i \Omega = 2,09 \Omega \angle 72,72^\circ$ .

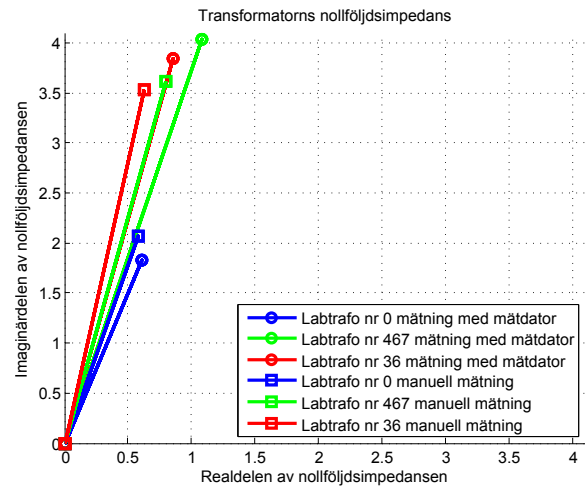
Samtidigt visar figur IV.2 vilken påverkan transformator-kärlet har på nollföljdsimpedansen. Detta betyder att även omgivningen kan påverka Yyn-kopplade transformatorers nollföljdsimpedans.



Figur IV.2. Figuren visar ordinarie mätning (blå stjärnor) samt mätning med två olika tjocklekar på "transformatorkärlet" (gröna kvadrater och röda kryss).

Mätningar utfördes även på andra transformatorer för att verifiera metoden. Mätning i drift genomfördes vid 100 V matningsspänning, ingen felresistans,  $R_f = 0 \Omega$ , samt spoljording.

Transformatorer som användes som kontroll var 2 kVA, kopplade så att relationen mellan fasspänningarna är 220/133 V. Resultatet syns i figur IV.3.



Figur IV.3. Transformatorns medelnollföljdsimpedans mätt i drift (cirklar) och vid manuell mätning (stjärnor). Tre olika transformatorer användes.

Figur IV.3 visar att skillnaden mellan manuell och automatisk mätning av transformatorns nollföljdsimpedans varierar från transformator till transformator. Även om skillnaderna är små är det svårt att dra definitiva slutsatser om metoden.

## V. SLUTSATS

Det som påverkar nollföljdsimpedansen mest är transformator-kärlet. Detta tyder på att en stor del av nollföljdsflödet tvingas ut i luften och kärlet vid jordfel. Det betyder också att impedansen kan påverkas av fysiska objekt utanför transformatorn. Av den här anledningen bör transformatorer provas på plats efter installation.

Mätresultaten för transformatorns nollföljdsimpedans ger viss osäkerhet som gör det svårt att dra definitiva slutsatser. Resultat från transformator till transformator varierar vilket gör det svårt att extrapolera ett resultat. Varför det finns en diskrepans mellan resultaten och vad som mer kan inverka på nollföljdsimpedansen från ledningsmodellen är något för fortsatta arbeten. Det kan bero på implementationen av spoljordingen, samlingen och behandling av mätsignaler eller på själva metoden.