

PDA - Rätt metod för tillståndskontroll av generatorlindningar

Elforsk rapport 96:29B



Förf: Stefan Halén
 Lars Henriksson

PDA - Rätt metod för tillståndskontroll av generatorlindningar?

Sammanfattning

I enlighet med beställning från Elforsk AB har Vattenfall Utveckling AB tillsammans med EKC genomfört mätningar med avsikt att utvärdera PDA-metodens lämplighet för tillståndskontroll av statorlindningar. Jämförelse har gjorts mellan resultaten från PDA-mätningarna, utvärderade enligt instruktionsboken från leverantören, och resultaten från de traditionella metoderna megging, förlustfaktormätning, PD-mätning enligt ICM samt kända fakta om lindningarna. Slutsats har blivit att viss information om lindningens kondition kan fås, men att det fortfarande fattas mycket kunskap om utvärderingskriterierna innan metoden kan användas som stöd för t. ex. renoverings- eller investeringsbeslut. Ifråga om tillståndskontroll tvingas man konstatera att det fortfarande inte finns någon helt tillförlitlig metod. PDA-metoden kan i någon mån användas som komplettering av de traditionella metoderna.

Summary

Vattenfall Utveckling AB together with EKC have performed measurements in order to evaluate the PDA-method for condition monitoring of stator windings. Comparisons have been made between results from PDA-measurements, performed according to the instruction book, and results from traditional methods as megging, loss factor measurements, PD-measurements according to ICM and known facts about the windings. The conclusion is that some new information on the status of the winding is possible to achieve, but still a lot of knowledge concerning the criteria for evaluation is missing in order to utilize the method as a tool for decisions on reinvestments or renovations. Good condition monitoring of stator windings is still not at hand and the PDA method may serve as a complement to the traditional methods.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	1
2.	ANVÄNDA MÄTMETODER	1
2.1	Meggning av isolationsresistansen, IR, samt polarisationsfaktorn, PI	1
2.2	Förlustfaktorn, $\tan \delta$	1
2.3	Mätning av partiella urladdningar, PD	2
2.3.1	PD enligt ICM	2
2.3.2	PD enligt PDA	2
3.	PROVADE GENERATORER	3
3.1	Forsmo G4	3
3.1.1	Meggning	4
3.1.2	$\tan \delta$ 5	
3.1.3	PD enligt ICM	6
3.1.4	PD enligt PDA	7
3.1.5	Sammanställd utvärdering Forsmo G4:	8
3.2	Seitevare	8
3.2.1	Meggning	8
3.2.2	$\tan \delta$ 9	
3.2.3	PD enligt ICM	10
3.2.4	PD enligt PDA	11
3.2.5	Sammanställd utvärdering Seitevare G1:	12
3.3	Vietas G2	12
3.3.1	Meggning	12
3.3.2	$\tan \delta$ 13	
3.3.3	PD enligt ICM	14
3.3.4	PD enligt PDA	15
3.3.5	Sammanställd utvärdering Vietas G2:	16
3.4	Långå G1	16
3.4.1	Meggning	17
3.4.2	$\tan \delta$ 18	
3.4.3	PD enligt ICM	18
3.4.4	PD enligt PDA	20
3.4.5	Sammanställd utvärdering Långå G1:	21
3.4.5	Långå G2	21
3.5.1	Meggning	22
3.5.2	$\tan \delta$ 23	
3.5.3	PD enligt ICM	24
3.5.4	PD enligt PDA	25
3.5.5	Sammanställd utvärdering Långå G2:	26

4.	SAMMANFATTNING AV RESULTATEN.....	26
4.1	Jämförelse per generator.....	27
5.	SLUTSATSER.....	27

BILAGEFÖRTECKNING

Bilaga 1:	Anvisning för utvärdering av mätresultaten från PDA-mätningar
Bilaga 2:	Tabell för tolkning av mätdata från PDA-mätningar
Bilaga 3:	Schema för koppling av PDA-utrustning
Bilaga 4:	Figurblad från PDA-analys

1. INLEDNING

För att utvärdera PDA-metodens lämplighet för tillståndskontroll av statorlindningar har jämförelse gjorts av mätningar med olika metoder på 5 olika generatorer nämligen Forsmo G4, Seitevare G1, Vietas G2 samt Långå G1 och G2. Generatorerna har valts av Elforsks uppdragsgivare. De mätmetoder som använts förutom PDA är meggning, $\tan \delta$ och PD-mätning enligt ICM. Mätningarna genomförde under veckorna 9537 till 9539.

2. ANVÄNDA MÄTMETODER

De olika mätmetoderna beskrivs kortfattat.

2.1 Meggning av isolationsresistansen, IR, samt polarisationsfaktorn, PI

Meggningen utförs med 5000 V likspänning under 10 minuter på varje fas för sig och med faserna sammankopplade. Mätvärdena registreras varje minut. Polarisationsindex, PI, beräknas som kvoten mellan tiominuters- och enminutsvärdet; ju högre värde desto bättre isolation. Lågt meggningsvärde tyder på fuktig eller smutsig isolation och lågt PI på att isolationen är åldrad. Metoden ensam anses vara mycket ofullständig som tillståndskontroll.

Undre gräns för PI för en ny lindning är 3,0 medan en använd lindning anses vara brukbar vid värden ner till 2. Enligt den amerikanska normen IEEE 43 är en lindning brukbar ner till ett meggningsvärde på

$$R(M\Omega) \geq U_n(kV) + 1$$

Detta innebär att en generator på 20 kV skall ha ett meggningsvärde på 21 M Ω för att anses vara körbar. Meggningsvärdena är temperaturberoende och skall enligt normen justeras till 40 °C.

2.2 Förlustfaktorn, $\tan \delta$

Förlustfaktorn $\tan \delta$ ger ett mått på isolationsmaterialets dielektriska egenskaper, som förändras med materialets kondition och ålder. Den mäts vid spänningarna 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 och 1,0 x U_n . Värdering görs av absolutvärde, största skillnaden mellan närliggande värden samt skillnaden mellan värdena vid 0,6 x U_n och 0,2 x U_n . För nya enskilda härvor gäller, enligt svensk standard SS 426 01 65, att värdet vid 0,2 x U_n skall understiga 3 %. För skillnaden mellan två närliggande spän-

ningar, $\Delta \tan \delta$, gäller 0,6 % och för halva skillnaden för spänningarna $0,2 \times U_n$ och $0,6 \times U_n$ gäller 0,3 %.

Erfarenhetsmässigt vet vi att asfalthärvor har avsevärt högre värden, och gränserna för bra lindning kan anses vara $\tan \delta = 5 \%$ vid $0,2 \times U_n$ och $\Delta \tan \delta = 2 \%$ mellan två närliggande mätvärden.

2.3 Mätning av partiella urladdningar, PD

Mätning av PD (Partial Discharges, partiella urladdningar, glimning) utförs för att upptäcka skador och defekter i isolationen. PD-signalerna indikerar att det finns skador eller defekter i isolationen orsakade av ålder, mekanisk och termisk påverkan etc. Dessutom orsakar PD-aktivitet i sig en nedbrytning av isolationen. Förutom PDA-metoden har samtliga objekt också mätts enligt ICM-metoden, med vilken mätningen görs med generatoren i stillestånd.

2.3.1 PD enligt ICM

Mätningarna görs i stillestånd varvid provspänningen alstras av ett testaggregat. Provobjektet kopplas via en kopplingskondensator till datainsamlingssystemet. En fullständig mätning består av följande steg:

- Mätning i enskild fas, var och en mot jord, med de övriga faserna jordade
- Mätning mot jord med alla faserna sammankopplade
- De båda mätmomenten utförs, dels med kopplingskondensatorn ansluten i fasuttaget och spänningsaggregatet i nollpunkten, dels med kopplingskondensatorn ansluten i nolluttaget och spänningsmätning i fasuttaget
- Varje mätningen görs vid 5 spänningsnivåer nämligen 20, 40, 60, 80 och 100 % av märkspänningen under 60 sekunder.

PD-pulsernas frekvens, amplitud och fasläge registreras. Olika skador anses ge olika mönster, men metoddokumentationen ger begränsad ledning om hur de olika mönstren skall tolkas. Vid utvärdering av PD-mönstren beaktas PD-pulsernas fasläge i förhållande till pålagd spänning, amplituden hos PD-pulserna i den pålagda spänningens respektive halvperioder samt pulsernas antal och polaritet.

2.3.2 PD enligt PDA

PDA-metoden började utvecklas av Ontario Hydro för ungefär 30 år sedan med avsikten att finna en metod för kontroll av spårkilarnas anläggning. Undan för

undan ökade förhoppningarna och man räknade med att både kunna konstatera både yttre och inre glimning, delaminering av härvorna samt eventuellt ren åldring av härvorna. Mätningarna görs under drift och fordrar därför ingen avställning av generatören. Metoden kräver fast installerade kopplingskondensatorer med mätuttag.

PDA-utrustningens kopplingsschema framgår av **Figur 1**. De två kondensatorerna är placerade minst två meter in på varje strömkrets. Gångtiden för pulserna är därigenom så stor att utrustningen kan skilja på utifrån kommande pulser och sådana som kommer från lindningen, genom att de utifrån kommande anländer samtidigt till utrustningen och kan elimineras, medan de från lindningen kommer fram med viss tidsskillnad och därigenom registreras. Genom att utvärdera pulsernas storlek, frekvens och fördelning skall man kunna avgöra deras orsak som härvändsglimning, delaminering osv.

Resultatet från en PDA-mätning kan presenteras på två sätt, vilka framgår av **Figur 2**. NQN-diagrammen i **Diagram 1** visar pulsfrekvensen för positiva och negativa pulser som funktion av pulsstorleken. I det visade exemplet är mätvärdena från de två kondensatorerna mycket olika, vilket indikerar att de 4 meter ledare, som finns mellan dem, är tillräckligt för att dämpa signalerna avsevärt, vilket också skulle innebära att pulser utifrån inte skulle behöva undertryckas, eftersom de ändå är starkt dämpade.

I **Diagram 2** visas den alternativa presentationen av PDA-mätningen där både de positiva och negativa pulsernas fasläge i förhållande till spänningen framgår.

Leverantören bifogar ett instruktionshäfte för tolkning av PDA-signalerna. Samtidigt som man ger regler för tolkning, trycker man på att den viktigaste informationen fås genom upprepade mätningar och trendanalys. Det kan nämnas att informationsskriftens påstående om att man kan nå avsevärt längre livslängd hos lindningen genom att använda PDA, inte delas av oss i full utsträckning. En sammanfattning av utvärderingskriterierna återfinnes i **Bilagorna 1 och 2**.

3. *PROVADE GENERATORER*

3.1 *Forsmo G4*

Generatören har följande data:

Märkspänning	10,4	kV
Isolationstjocklek	4,3	mm
El. fältstyrka i isolationen	1,4	kV/mm
Isolationstyp	tryckimpregnerad asfalt compound	

3.1.1 Meggning

Meggningen av varje fas för sig samt alla faserna tillsammans gav följande resultat efter omräkning av resistanserna till 40 från 43 grader.

		Isolationsresistans			
		Meggning 5000 V			
	Tid, min.	Fas U GOhm	Fas V GOhm	Fas W GOhm	Samtl GOhm
	0.5	0.468	0.480	0.470	0.191
	1	0.680	0.660	0.655	0.276
	2	0.865	0.885	0.885	0.378
	3	1.020	1.030	1.040	0.448
	4	1.130	1.160	1.160	0.500
	5	1.240	1.270	1.260	0.545
	6	1.330	1.370	1.360	0.590
	7	1.420	1.450	1.450	0.625
	8	1.510	1.540	1.530	0.655
	9	1.590	1.620	1.610	0.690
	10	1.660	1.700	1.690	0.720
Polarisation PI		2.55	2.58	2.58	2.61

Utvärdering av meggningen:	Fas U sämst	Fas W medel- bra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden, över gränsvärdena. Ingen skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av PI polarisationsindex:	Fas U sämst	Fas V medel- bra	Fas W bäst
Kommentar: Godkända värden, över gränsvärdena. Ingen skillnad mellan faserna.			

3.1.2 $\tan \delta$

Mätningen av $\tan \delta$ gav följande resultat

U/Un U kV		tan δ			
		Fas U %	Fas V %	Fas W %	Samtl %
0,2	2,08	2,46	2,57	2,68	3,06
0,4	4,16	2,67	2,82	2,92	3,27
0,6	6,24	4,73	4,68	4,78	5,02
0,8	8,32	6,42	6,35	6,54	6,79
1	10,4	7,27	7,24	7,58	7,56
$\Delta \tan \delta_{\max}$	2,06	1,86	1,86	1,75	
$(\tan \delta_{0,6} - \tan \delta_{0,2})/2$	1,14	1,06	1,05	1,98	

Utvärdering av $\tan \delta$:	Fas W sämst	Fas U medel- bra	Fas V bäst
Kommentar: Värdena bra för asfaltisolation. Liten skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av $\Delta \tan \delta$:	Fas U sämst	Fas V medelbra	Fas W bäst
Kommentar: Relativt liten skillnad mellan faserna.			

3.1.3 PD enligt ICM

PD-mätning enligt ICM gav följande resultat:

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Fasuttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	2.08	brus	brus	0.9	0.9	brus	brus	1.1	1.1
0,4	4.16	1.9	1.8	0.9	1	1.2	1.2	5	5
0,6	6.24	30	22	22	16	23	18	45	25
0,8	8.32	33	21	28	14	24	19	45	27
1,0	10.4	34	20	29	14	24	19	45	30
UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Nolluttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	2.08	0.2	0.3	0.6	0.6	1	1	brus	brus
0,4	4.16	1.9	2	1.5	1.9	1.6	1.8	13	10
0,6	6.24	38	31	26	24	34	28	63	43
0,8	8.32	47	26	30	26	34	28	63	40
1,0	10.4	41	28	34	28	37	28	57	43

Utvärdering av PD-mätning, enligt ICM	Fas U sämst	Fas V medelbra	Fas W bäst
Kommentar: Höga värden, viss skillnad mellan faserna. Sämre värden i noll-uttaget. Analysen av PD-mönstren pekar på ”feltyp 1” enligt bil. 2, små håligheter inuti isolationen, delaminering. Analysen tyder också på dålig bindning mellan koppar och isolation.			

3.1.4 PD enligt PDA

PD-mätning enligt PDA gav följande resultat:

Forsmo G4													
		Låg Last [LL]						Hög Last [HL]					
		U		V		W		U		V		W	
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C1	NQN							-	-	-	-	-	63
	QM							0	0	0	0	0	35
C2	NQN							-	-	-	-	7	5
	QM							0	0	0	0	0	0
C3	NQN												
	QM												
C1	NQN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	QM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	NQN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	QM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	NQN												
	QM												

Är Resultaten Lastberoende?	-	Låga nivåer.
Är Resultaten Temperaturberoende?	-	Låga nivåer, (men fasWC>fasWW)
Högsta NQN&QM värden per fas U V W	-	NQN: - - 36 QM: 0 0 36
Förhållandet mellan pos. & neg. NQN resp. QM värden per fas UVW	-	Låga nivåer. Se tabellen ovan.

Utvärdering av PD-mätning, enligt PDA	-	-	-
De låga nivåerna kan tolkas som att lindningen är i god kondition eller att det finns felaktigheter i mätmetoden.			

Kommentar: Då hela lindningen var spänningssatt med spänningsaggregatet uppmättes tydliga signaler med PDA-instrumentet. Vid mätningarna i drift däremot uppträdde inte några egentliga mätvärden, vilket omedelbart väckte misstanken att kopplingskondensatorerna inte var kopplade till högsta spänningarna. Det var inte möjligt att kontrollera detta på platsen, men ABB förnekar att så är fallet. En förklaring som ligger nära till hands är att fältstyrkan i isolationen är så låg i drift, att det inte finns några mätbara urladdningar.

3.1.5 Sammanställd utvärdering Forsmo G4:

Nedanstående tabell visar hur de olika metoderna värderar statorlindningens isolation i en skala 1 till 10. Tabellen har givetvis subjektivt inslag.

Mätmetod	Fas U	Fas V	Fas W	Bedömningar
Meggning	8	8	8	Jämna värden, bra värden för en asfaltlindning
PI	5	5	5	Jämna värden, bra värden för en asfaltlindning
Tan del	8	8	8	Bra värden för asfaltlindning
del tan del	5	5	5	Bra värden för asfaltlindning
PD-ICM	7	8	8	Ganska bra asfaltlindning
PD-PDA				Inga resultat

3.2 Seitevare

Data för lindningsisolationen:

Märkspänning	17 kV
Isolationstjocklek	3,45 mm
El. fältstyrka i isolationen	2,85 kV/mm
Isolationstyp	Micapact

3.2.1 Meggning

Meggningen av varje fas för sig samt alla faserna tillsammans gav följande resultat.

Tid, min.	Isolationsresistans Meggning 5000 V			
	Fas U	Fas V	Fas W	Samtl
	GOhm	GOhm	GOhm	GOhm
0,5	0,456	0,440	0,456	0,169
1	0,760	0,750	0,760	0,322
2	1,280	1,220	1,260	0,580
3	1,740	1,670	1,710	0,804
4	2,200	2,060	2,140	1,010
5	2,600	2,460	2,560	1,210
6	3,020	2,840	2,920	1,400
7	3,420	3,200	3,280	1,590
8	3,820	3,580	3,680	1,770
9	4,200	3,940	4,060	2,000
10	4,620	4,320	4,420	2,080
Polarisation PI	6,08	5,76	5,82	6,46

Eftersom lindningstemperaturen vid mättillfället var 21,7 °C skall mätvärdena multipliceras med 0,28 för att ge värdet vid 40 °C.

Utvärdering av meggningen:	Fas U sämst	Fas W medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena.			

Utvärdering av PI polarisationsindex:	Fas V sämst	Fas W medelbra	Fas U bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena.			

3.2.2 $Tan \delta$

Mätningen av $\tan\delta$ gav följande resultat:

U/Un U kV		tan δ			
		Fas U %	Fas V %	Fas W %	Samtl %
0,2	3,4	0,87	0,86	0,86	1,02
0,4	6,8	0,95	0,94	0,94	1,03
0,6	10,2	1,15	1,11	1,12	
0,8	13,6	1,63	1,56	1,56	
1	17	2,2	2,13	2,15	
$\Delta \tan\delta_{\max}$	0,57	0,57	0,59		
$(\tan\delta_{0,6}-\tan\delta_{0,2})/2$	0,14	0,13	0,13		

Utvärdering av $\tan\delta$:	Fas U sämst	Fas W medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden			

Utvärdering av $\Delta \tan\delta$:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden. Försumbar skillnad mellan faserna.			

3.2.3 PD enligt ICM

PD-mätning enligt ICM gav följande resultat:

UM / UN	UM [kV]	PD-mätning i Fasuttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	brus	brus	0,1	0,1	0,3	0,2		
0,4	8	0,7	0,6	0,9	0,6	1,4	1,4		
0,6	12	1,8	2,3	1,3	1,3	1,5	1,8		
0,8	16	4	4,3	3,2	3,4	4	4,2		
1,0	20	4,7	5,0	5,6	5,3	4,5	4,7		

UM / UN	UM [kV]	PD-mätning i Nolluttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	brus	brus	brus	brus	brus	brus		
0,4	8	0,7	0,8	2,5	2,5	0,4	0,4		
0,6	12	1,4	1,6	6,7	8,2	1,2	1,3		
0,8	16	2,8	3,1	13	15	2,5	2,7		
1,0	20	4,7	4,9	21	24	4	4,4		

Utvärdering av PD-mätning, enligt ICM	Fas V sämst	Fas U medelbra	Fas W bäst
Kommentar: Bra värden, liten skillnad mellan faserna. Förutom fas V vid mätning i nolluttag där nivån är 4 till 5 ggr högre än i övriga faser. Analysen av PD-mönstren pekar på "feltyp 1" i bil. 2, små håligheter inuti isolationen.			

3.2.4 PD enligt PDA

PD-mätning enligt PDA gav följande resultat:

Station:	Seitevare G1													
			Låg Last [LL]						Hög Last [HL]					
			U		V		W		U		V		W	
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Kall Generator [C]	C1	NQN							625	175	640	720	495	71
		QM							235	115	285	310	235	32
	C2	NQN							335	400	125	170	740	75
		QM							170	195	95	105	345	33
	C3	NQN							260	255	405	315	360	28
		QM							225	275	420	420	300	15
Varm Generator [W]	C1	NQN	70	90	440	500	390	490	20	40	260	290	250	31
		QM	0	80	225	235	205	240	0	0	145	150	145	15
	C2	NQN	280	300	135	160	760	660	160	200	30	55	390	40
		QM	150	160	150	120	365	300	100	125	0	55	200	20
	C3	NQN	50	60	270	210	200	205	75	85	390	445	365	39
		QM	50	70	155	140	125	115	250	300	405	450	190	20

Är Resultaten Lastberoende?	JA LL> HL	Något högre värden vid låg last. Men det var temperaturdifferens mellan de olika mätningarna. LL 50, HLC 38, HLW 75 grader C.
Är Resultaten Temperaturberoende?	JA C > W	Lägre värden vid varm generator. > 2 ggr Utom VC3 och WC3 spec neg. värdena
Högsta NQN&QM värden per fas U V W	760 450	NQN: 625 720 760 QM: 300 450 365
Förhållandet mellan pos. & neg. NQN resp. QM värden per fas UVW	.	Inga enhetliga förhållanden per fas eller ens parallell, varierar både till storlek och riktn.

Utvärdering av PD-mätning, enligt PDA	Fas W sämst	Fas V medelbra	Fas U bäst
Kommentar: Bra lindning, men på gränsen till "höga" värden. Vid mätning HLW är fas U medelbra och fas V bäst. "Feltyp 1" dominerar, små håligheter inuti isolationen. Vissa tecken tyder på härvävsproblem, spec. fas VC3 och lite UC3 och WC3.			

3.2.5 Sammanställd utvärdering Seitevare G1:

Mätmetod	Fas U	Fas V	Fas W	Bedömningar
Meggning	7	7	7	Ganska bra och jämna värden
PI	10	10	10	Bra och jämna värden
Tan del	10	10	19	Bra och jämna värden
del tan del	9	9	9	Bra och jämna värden
PD-ICM	10	10	10	Mycket bra värden
PD-PDA	8	8	8	Indikerar mindre svagheter

3.3 Vietas G2

Generatoren har följande data:

Märkspänning	20	kV
Isolationstjocklek	4,4	mm
El. fältstyrka i isolationen	2,62	kV/mm
Isolationstyp	Micapact	

3.3.1 Meggning

Meggningen gav följande resultat:

		Isolutionsresistans			
		Meggning 5000 V			
		Fas U	Fas V	Fas W	Samtl
Tid, min.		GOhm	GOhm	GOhm	GOhm
0.5		0.655	0.645	0.660	
1		1.220	1.230	1.260	0.498
2		2.340	3.300	2.360	1.040
3		3.380	3.320	3.420	1.570
4		4.380	4.260	4.420	2.100
5		5.300	5.150	5.300	2.600
6		6.200	5.950	5.200	3.100
7		7.050	6.700	7.000	3.560
8		7.800	7.450	7.800	4.050
9		8.600	8.200	8.550	4.400
10		9.300	8.850	9.250	4.900
Polarisation PI		7.62	7.2	7.34	9.83

Eftersom lindningstemperaturen vid mättillfället var 45 °C skall mätvärdena multipliceras med 1.4 för att ge värdet vid 40 °C.

Utvärdering av meggningen:	Fas W sämst	Fas V medel- bra	Fas U bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena. Ingen nämnvärd skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av PI polarisationsindex:	Fas V sämst	Fas W medelbra	Fas U bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena.			

3.3.2 $\tan \delta$

Mätningen av $\tan \delta$ gav följande resultat:

U kV U/Un		$\tan \delta$			
		Fas U %	Fas V %	Fas W %	Samtl %
0,2	4	0,83	0,81	0,81	1,02
0,4	8	1,04	1,027	1,00	
0,6	12	1,4	1,20	1,37	
0,8	16	1,73	1,83	1,80	
1	20	2,35	2,38	2,23	
$\Delta \tan \delta_{\max}$		0,62	0,55	0,43	
$(\tan \delta_{0,6} - \tan \delta_{0,2})/2$		0,285	0,195	0,28	

Utvärdering av $\tan \delta$:	Fas U sämst	Fas W medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden. Liten skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av $\Delta \tan \delta$:	Fas U sämst	Fas V medel- bra	Fas W bäst
Kommentar: Bra värden. Liten skillnad mellan faserna.			

3.3.3 PD enligt ICM

PD-mätning enligt ICM gav följande resultat:

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Fasuttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	0,7	0,8	1,2	1,5	0,4	0,5		
0,4	8	4,4	5,0	5,0	4,1	5,3	5,7		
0,6	12	9,7	10	9,0	8,7	8,2	8,2		
0,8	16	13	11	16,2	16,2	16,2	13,4		
1,0	20	23	19	23,0	24,9	21,6	21,6		

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Nolluttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	-	0,3	0,6	0,7	0,6	0,8		
0,4	8	5,7	5,2	1,4	1,3	2,7	2,1		
0,6	12	7,0	6,0	2,3	2,2	10,2	11,8		
0,8	16	10,5	10,5	10,2	10,5	14,1	14,8		
1,0	20	13,0	11,3	12,6	11,8	15,2	14,4		

Utvärdering av PD-mätning, enligt ICM	Fas V sämst	Fas U medel- bra	Fas W bäst
Kommentar: Mindre bra värden, liten skillnad mellan faserna. Nollpunktssidan av lindningen verkar vara betydligt bättre än fassidan, vilket kan vara tecken på elektrisk åldring. Analysen av PD-mönstren pekar på ”feltyp 1”, små håligheter inuti isolationen. Vissa mönster tyder också på härvändsskador.			

3.3.4 PD enligt PDA

PD-mätning enligt PDA gav följande resultat:

Station:		Vietas G2													
			Låg Last [LL]						Hög Last [HL]						
			U		V		W		U		V		W		
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
Kall Generator [C]	C1	NQN	205	230	10	50	480	95	155	205	35	75	700	23	
		QM	130	140	0	55	265	80	105	130	0	83	385	14	
	C2	NQN	-	-	-	3	140	170	-	-	-	-	130	14	
		QM	0	0	0	0	110	125	0	0	0	0	100	11	
Varm Generator [W]	C1	NQN	355	360	775	575	325	295	350	350	745	605	300	28	
		QM	190	185	400	280	185	165	185	180	405	300	165	15	
	C2	NQN	245	215	165	150	295	145	285	205	160	150	315	17	
		QM	195	130	110	100	185	100	195	135	100	100	190	11	

Är Resultaten Lastberoende?	NEJ	Varken vid varm eller kall maskin
Är Resultaten Temperaturberoende?	JA C < W	Högre värden vid varm generator. Utom fasWC1 pos värden.
Högsta NQN&QM värden per fas U V W	775 405	NQN: 360 775 700 QM: 195 405 385
Förhållandet mellan pos. & neg. NQN resp. QM värden per fas UVW	+>- ej U vid [W]	Se tabellen ovan.

Utvärdering av PD-mätning, enligt PDA	Fas V sämst (W vid kall gen.)	Fas W medelbra (U vid kall gen.)	Fas U bäst (V vid kall gen.)
Kommentar: Bra lindning, men den är på gränsen till "höga" värden. "Feltyp 1" dominerar, små håligheter inuti isolationen. PD-mönstren visar också på härvändsproblem och möjligen spårglimning utan lastberoende. En liten tendens till dålig bindning finns i fas U, dock ingen fara.			

3.3.5 Sammanställd utvärdering Vietas G2:

Mätmetod	Fas U	Fas V	Fas W	Bedömningar
Meggning	9	9	9	Bra och jämna värden
PI	10	10	10	Bra och jämna värden
Tan del	10	10	10	Bra och jämna värden
del tan del	9	9	9	Bra och jämna värden
PD-ICM	8	9	9	Ganska bra värden
PD-PDA	10	8	8	Ganska bra värden

3.4 Långå G1

Generatoren har följande data:

Märkspänning	18 kV
Isolationstjocklek	3,78 mm
El. fältstyrka i isolationen	2,75 kV/mm
Isolationstyp	Micapact

3.4.1 Meggning

		Isolationsresistans Meggning 5000 V			
		Fas U GOhm	Fas V GOhm	Fas W GOhm	Samtl GOhm
Tid, min.					
	0.5	1.85		2.35	
	1	4.36	5.05	4.80	
	2	8.70	8.80	8.60	
	3	12.20	12.40	12.20	
	4	15.70	15.90	15.60	
	5	19.00	19.30	19.80	
	6	22.20	22.60	22.60	
	7	25.40	25.60	25.40	
	8	28.40	28.80	28.60	
	9	31.60	32.00	31.60	
	10	34.40	34.80	34.60	
Polarisation PI		7.86	6.87	7.21	

Eftersom lindningstemperaturen vid mättillfället var 32 °C skall mätvärdena multipliceras med 0.57 för att ge värdet vid 40 °C.

Utvärdering av meggningen:	Fas U sämst	Fas W medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena. Ingen skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av PI polarisationsindex:	Fas V sämst	Fas W medelbra	Fas U bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena.			

3.4.2 $\tan \delta$

Mätningen av $\tan \delta$ gav följande resultat:

		$\tan \delta$			
		Fas U	Fas V	Fas W	Samtl
U/Un	U kV	%	%	%	%
0,2	3,6	0,835	0,798	0,866	1,020
0,4	7,2	1,273	1,232	1,321	
0,6	10,8	1,863	1,808	1,927	
0,8	14,4	2,255	2,208	2,298	
1	17	2,541	2,494	2,629	
$\Delta \tan \delta_{\max}$	0,59	0,58	0,61		
$(\tan \delta_{0,6} - \tan \delta_{0,2})/2$	0,51	0,51	0,53		

Utvärdering av $\tan \delta$:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden. Liten skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av $\Delta \tan \delta$:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden. Liten skillnad mellan faserna.			

3.4.3 PD enligt ICM

PD-mätning enligt ICM gav följande resultat:

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Fasuttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7
0,4	8	7	8	6	8	7	8	5	6
0,6	12	7	8	8	10	7	9	5	6
0,8	16	10	12	7	10	9	12	7	8
1,0	20	12	14	10	12	12	13		

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Nolluttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	-	0,3	0,4	0,7	0,3	0,6	1,8	2,0
0,4	8	9	9,5	40	35	8	9	5	7
0,6	12	20	14,5	35	28	12	12	28	27
0,8	16	40	30	24	28	18	14		
1,0	20	50	44	40	40	35	30		

Utvärdering av PD-mätning, enligt ICM	Fas V sämst	Fas U medelbra	Fas W bäst
Kommentar: Bra värden i fasuttaget, liten skillnad mellan faserna. Mindre bra värden i nolluttaget. Fasuttagssidan på lindningen verkar vara i betydligt bättre kondition än nolluttagssidan. Analysen av PD-mönstren pekar på ”feltyp 1”, små håligheter inuti isolationen. Vissa mönster tyder också på härvänds- och spårglimning dock i mindre omfattning.			

3.4.4 PD enligt PDA

PD-mätning enligt PDA gav följande resultat:

Station:		Långå G1													
			Låg Last [LL]						Hög Last [HL]						
			U		V		W		U		V		W		
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
Kall Generator [C]	C1	NQN	n/a	n/a	37	74	36	66	n/a	n/a	58	162	215	26	
		QM	0	0	0	83	0	76	0	0	66	99	79	9	
	C2	NQN	992	671	279	252	437	321	o.r.+>-	1454	433	330	559	43	
		QM	406	291	146	142	199	170	703	600	194	149	277	21	
Varm Generator [W]	C1	NQN							351	340	30	104	n/a	n/	
		QM							119	212	0	89	319	20	
	C2	NQN							1154	774	448	469	851	72	
		QM							468	303	219	238	365	31	
	C2	NQN							1339	859	449	427	903	71	
		QM	66grad							543	355	222	189	335	30

Endast kopplare C2 beaktas vid utvärderingen (endast 1 strömkrets).

Är Resultaten Lastberoende?	JA	Högre värden vid hög last, ca:25%.
Är Resultaten Temperaturberoende?	JA C < W	Högre värden vid varm generator. I fas U minskar dock värdena vid varm generator.
Högsta NQN&QM värden per fas U V W	1450 700	NQN: 1450 450 900 QM: 700 280 335
Förhållandet mellan pos. & neg. NQN resp. QM värden per fas UVW	+ > -	Se tabellen ovan.

Utvärdering av PD-mätning, enligt PDA	Fas U sämst	Fas W medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Mindre bra lindning. ”Feltyp 1” dominerar, små håligheter inuti isolationen. PD-mönstren pekar också på spårglimning. En liten tendens till härvändsproblem finns i fas W			

3.4.5 Sammanställd utvärdering Långå G1:

Mätmetod	Fas U	Fas V	Fas W	Bedömningar
Meggning	10	10	10	Bra och jämna värden
PI	10	10	10	Bra och jämna värden
Tan del	9	9	9	Bra och jämna värden
del tan del	7	7	7	Ganska bra och jämna värden
PD-ICM	9	8	9	Bra, men viss skillnad mella faser
PD-PDA	5	9	7	Mindre bra, stora skillnader mellan faser

Metoderna ger starkt olika resultat. Det är tidigare känt att lindningen har yttre glimning i spår och härvändar.

3.4.5 Långå G2

Generatorn har följande data:

Märkspänning	18	kV
Isolationstjocklek	3,93	mm
El. fältstyrka i isolationen	2,64	kV/mm
Isolationstyp	Micapact	

3.5.1 Meggning

Meggningen av varje fas för sig samt alla faserna tillsammans gav följande resultat. Lindningstemperaturen vid mätningen var 40 grader.

		Isolationsresistans Meggning 5000 V			
Tid, min.		Fas U	Fas V	Fas W	Samtl
		GOhm	GOhm	GOhm	GOhm
	0.5	1.660	1.670	1.720	
	1	2.900	2.900	2.920	
	2	5.500	5.000	5.050	
	3	6.950	6.950	6.950	
	4	8.850	8.800	8.550	
	5	10.800	10.700	10.600	
	6	12.600	12.500	12.500	
	7	14.300	14.400	14.200	
	8	16.100	15.900	15.900	
	9	17.800	17.800	17.700	
	10	19.500	19.600	19.400	
Polarisation PI		6.72	6.76	6.64	

Utvärdering av meggningen:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena. Ingen skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av PI polarisationsindex:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden, klart över gränsvärdena. Liten skillnad mellan faserna.			

3.5.2 $\tan \delta$

Mätningen av $\tan \delta$ gav följande resultat:

		$\tan \delta$			
		Fas U	Fas V	Fas W	Samtl
U/U _n	U kV	%	%	%	%
0,2	3,6	0,961	0,955	0,944	1,020
0,4	7,2	1,119	1,104	1,112	
0,6	10,8	1,641	1,586	1,603	
0,8	14,4	2,186	2,178	2,230	
1	18	2,675	2,640	2,711	
$\Delta \tan \delta_{\max}$		0,55	0,59	0,63	
$(\tan \delta_{0,6} - \tan \delta_{0,2})/2$		0,34	0,32	0,33	

Utvärdering av $\tan \delta$:	Fas W sämst	Fas U medelbra	Fas V bäst
Kommentar: Bra värden. Obetydlig skillnad mellan faserna.			

Utvärdering av $\Delta \tan \delta$:	Fas U sämst	Fas V medelbra	Fas W bäst
Kommentar: Bra värden. Obetydlig skillnad mellan faserna.			

3.5.3 PD enligt ICM

PD-mätning enligt ICM gav följande resultat:

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Fasuttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	0,2	0,5	0,3	0,5	0,2	0,5	0,2	0,3
0,4	8	2	5	2	4	0,8	1,5	0,6	1,5
0,6	12	6	8	3	5	2	3	2	3
0,8	16	10	8	9	7	9	7		
1,0	20	20	13	15	14	12	10		

UM/ UN	UM [kV]	PD-mätning i Nolluttag. Värden anges i nC. (+/- anger PD-puls uppmätt i pos resp neg halvperiod)							
		Fas U		Fas V		Fas W		Alla Faser	
		+	-	+	-	+	-	+	-
0,2	4	0,2	0,3	brus	0,1	0,2	0,4	brus	0,2
0,4	8	2	5	1	2	2	3	0,8	3
0,6	12	7	10	7	8	10	8	5	6
0,8	16	20	20	15	15	20	16		
1,0	20	20	20	40	32	20	17		

Utvärdering av PD-mätning, enligt ICM	Fas U sämst	Fas V medelbra	Fas W bäst
Kommentar: "Bra" värden i fasuttaget, viss skillnad mellan faserna. Sämre värden i nolluttaget, speciellt fas V. Fasuttagssidan på lindningen verkar vara i bättre kondition än nolluttagssidan. Anlysen av PD-mönstren pekar på "feltyp 1", små håligheter inuti isolationen. Analysen tyder också på spårglimning och en del härvändsglimning.			

3.5.4 PD enligt PDA

PD-mätning enligt PDA gav följande resultat:

Station:		Långå G2													
			Låg Last [LL]						Hög Last [HL]						
			U		V		W		U		V		W		
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
Kall Generator [C]	C1	NQN	185	307	545	197	409	151	187	299	668	218	677	18	
		QM	125	166	287	132	197	99	122	164	353	136	308	12	
	C2	NQN	591	441	263	286	476	505	620	470	313	326	571	59	
		QM	270	214	147	149	230	237	284	222	164	176	273	28	
Varm Generator [W]	C1	NQN	200	343	781	259	1007	167	183	332	767	258	1054	17	
		QM	133	186	413	148	446	109	126	188	416	154	479	12	
	C2	NQN	678	483	354	347	567	576	726	544	383	392	649	67	
		QM	310	229	187	183	272	277	360	261	192	193	295	29	

Är Resultaten Lastberoende?	NEJ	Varken vid varm eller kall maskin.
Är Resultaten Temperaturberoende?	JA $C < W$	Högre värden vid varm generator. Speciellt för de positiva värdena.
Högsta NQN&QM värden per fas U V W	1055 480	NQN: 725 780 1055 QM: 360 415 480
Förhållandet mellan pos. & neg. NQN resp. QM värden per fas UVW	(+ > 2-) vissa faser	Varierar mellan faser och strömkretsar.Se tabellen ovan.

Utvärdering av PD-mätning, enligt PDA	Fas W sämst	Fas V medelbra	Fas U bäst
Kommentar: Mindre bra lindning. ”Feltyp 1” dominerar, små håligheter inuti isolationen. PD-mönstren pekar också på spårglimning och härvändsproblem, i synnerhet fas W och V. Möjligen en tendens till dålig bindning i fas UC1.			

3.5.5 Sammanställd utvärdering Långå G2:

Mätmetod	Fas U	Fas V	Fas W	Bedömningar
Meggning	10	10	10	Mycket bra och jämna värden
PI	10	10	10	Mycket bra och jämna värden
Tan del	9	9	9	Mycket bra och jämna värden
del tan del	8	8	8	Bra och jämna värden
PD-ICM	9	9	10	Mycket bra värden
PD-PDA	8	8	6	Mindre bra värden

Metoderna visar ganska olika resultat. Det är redan tidigare känt att lindningen har yttre glimning både i spår och härvändar.

4. SAMMANFATTNING AV RESULTATEN

Följande tabell ger en översikt av resultaten ur de mera detaljerade tabeller som återfinns i samband med redovisningen för varje enskild generator.

	PDA	ICM	Tanδ	Δtanδ	IR	PI	Känt sedan tidigare
Forsmo G4		Ganska bra	Ganska bra	Ganska bra	Ganska bra	Ganska bra	Bra asfaltlindn.
Seitevare G1	Ganska bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Ganska bra	Mycket bra	Ngn yttre härvänds-glimning 1.
Vietas G2	Ganska bra	Ganska bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Ngn yttre härvänds-glimning 1.
Långå G1	Mindre bra	Ganska bra	Mycket bra	Ganska bra	Mycket bra	Mycket bra	Yttre glimning 2.
Långå G2	Mindre bra	Mycket bra	Mycket bra	Bra	Mycket bra	Mycket bra	Yttre glimning 2.

- 1) Båda generatorerna har åtgärdats mot yttre härvändsglimning men mindre glimningar
- 2) Båda generatorerna har yttre glimning i spår och härvändar. På grund av att höga ozonhalter uppmättes under en längre tid skiftades fas- och nolluttag för ca 7 år sedan på båda generatorerna. (PD-ICM visar att det fortfarande är högre PD-nivåer i de nuvarande nolluttagen än i fasuttagen, dvs nivåerna har sänkts genom skiftet).

4.1 Jämförelse per generator

För att få en uppfattning om överensstämmelsen mellan de olika mätmetoderna görs jämförelse för varje provad generator.

- Forsmo G4.
God överensstämmelse mellan off-line-metoderna: ICM, $\tan \delta$ och meggning. Med PDA-metoden erhöles inga trovärdiga resultat. Det är inte klarlagt om detta beror på mättekniken eller metoden. Om problemet kan hänföras till metoden, är det mycket graverande för denna. Det fanns inte möjlighet att undersöka orsaken till att vi inte fick några resultat under vår mätning, utan detta bör göras vid ett senare tillfälle.
- Seitevare G1.
Samtliga metoder ger snarlik bedömning av generatören. Möjligen ger PDA-metoden något sämre bedömningsresultat än övriga metoder
- Vietas G2.
God överensstämmelse mellan mätmetoderna.
- Långå G1.
Metoderna ger olika bedömning. PDA-metoden ger sämre bedömningsresultat än de övriga. Eftersom generatören har endast en strömkrets, kunde den inte mätas enligt PDA:s grundkoncept. Endast kopplingskondensator C2, den närmast lindningen, beaktades vid utvärderingen.
- Långå G2.
Resultaten från de olika metoderna visar god överensstämmelse

5. SLUTSATSER

Utgår man från tabellerna för varje generator finner man att:

- alla metoder kan detektera skillnader mellan faserna på en lindning
- metoderna $\tan \delta$ och PD-ICM har fördelen att man, genom att mäta fasvis respektive med faserna sammankopplade, kan dra vissa slutsatser om fas-till-fas-relaterade problem.
- med PD-ICM-metoden kan man se skillnad mellan fas- och nollsidan på lindningen

- med PD-PDA-metoden kan man se skillnader mellan strömkretsarna i en fas
- med PDA- och ICM-metoderna indikerades en del svagheter nämligen tidigare kända yttre glimningar och tidigare okända inre glimningar. Inget av detta kan indikeras effektivt med någon av de andra använda metoderna. Tan δ påverkas visserligen av glimning, men det går inte att avgöra om det rör sig om inre eller yttre glimning

Man kan konstatera att en helt tillförlitlig tillståndskontroll av statorlindningar fortfarande inte kan utföras. Med de traditionella (icke PD-) metoderna kunde man i viss mån rangordna lindningarna efter tillstånd, och med de nyare metoderna kan man komma aningen längre, men till en absolut konditionbedömning är steget långt. Man kan tänka sig att en trendmätning av PD skulle kunna ytterligare komplettera informationen om isolationens åldring, men innan man kan dra några slutsatser om detta, fordras mycket långa serier av mätningar. Att avgöra kvarvarande livslängd med någon metod är inte möjligt eftersom uppmätta nivåer inte går att relatera till isolationens hållfasthet. Dessutom påverkas isolationens åldring av driftbetingelserna, vilket ingen mätmetod kan ta hänsyn till.

Slutsatsen blir att PDA-metoden, liksom andra PD-metoder, kan ge viss kompletterande information om skeenden i en lindningsisolation, men att informationen långt ifrån räcker för en tillståndskontroll.

Anvisning för utvärdering av mätresultaten från PDA-mätningar enligt manualen.

För varje enskild mätning på ett par givare används fyra mätvärden och två diagram per givare för utvärdering. De senare framgår av **Figur 1**.

Diagram:

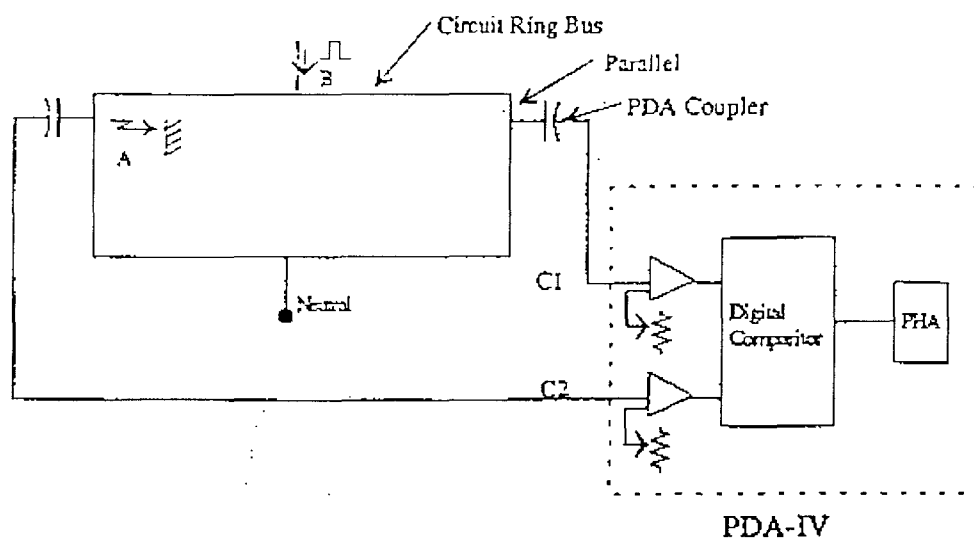
1. Diagram 1: "Pulse count rate PPS", som funktion av "PD Magnitude" i mV.
2. Diagram 2: "Pulse count rate PPS" och PD Magnitude som funktion av "Phase angle".

Mätvärden:

NQN : Värdet är relaterat till den totala laddningstransporten från PD-aktiviteten som indikeras av givaren under mätningen. Värdet kan liknas med $\tan \delta$ - tipup som speglar lindningsisolationens genomsnittliga tillstånd.

1. NQN+ : Är relaterat till de positiva pulserna i diagram 1.
2. NQN- : Är relaterat till de negativa pulserna i diagram 1.
3. QM+ : Största positiva PD-puls. Egentligen maxvärde vid ca 10 PPS.
4. QM- : Största negativa PD-puls. Egentligen maxvärde vid ca 10 PPS.

Schema för koppling av PDA-utrustningen



Pulsen från A kommer fram vid olika tid till utrustningens ingångar och registreras därmed som puls från lindningen. Av symmetriskäl kommer pulsen B samtidigt till de två ingångarna och elimineras därför som utifrån kommande puls.

Vattenfall : Vietas : G2			
September 19, 1995 9:22 am	Hydraulic Generator	B	VC1 - Parallel 1
A (50-850mV) 5s	Ref.angle:90 deg.		VC2 - Parallel 2
20.00 kV	Temp: 90	Epoxy Mica	
170 MW / 0 MVAR			
Note:		1971	

NQN+:787 NQN:-600 QM+:420 QM:-291

NQN+:164 NQN:-146 QM+:99 QM:-98

Coupler C1

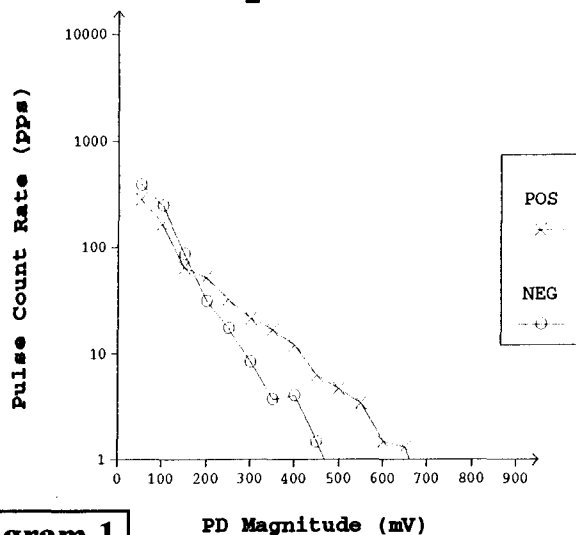


Diagram 1

PD Magnitude (mV)

Coupler C2

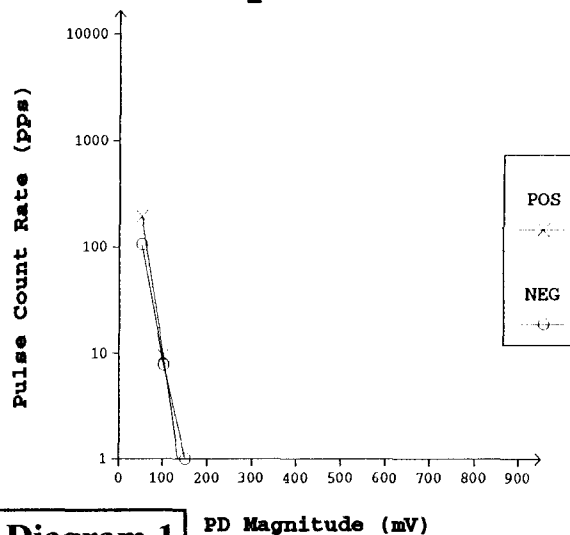


Diagram 1

PD Magnitude (mV)

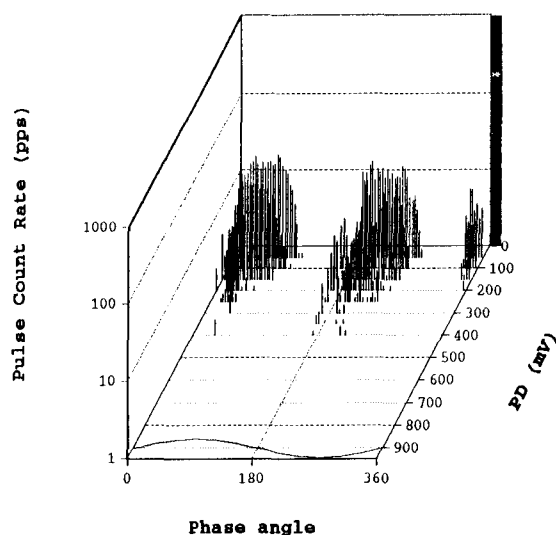


Diagram 2

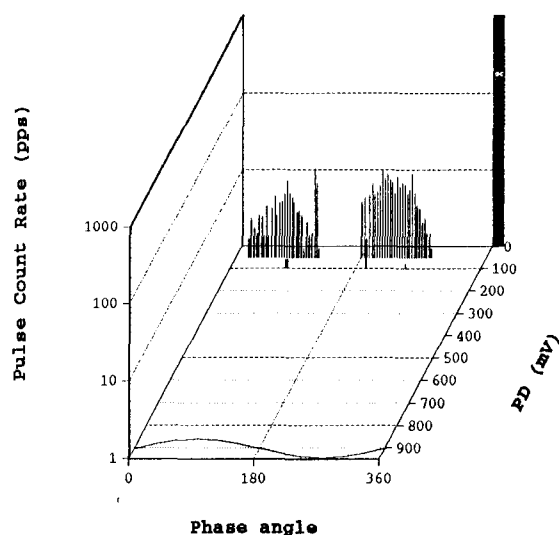


Diagram 2

Iris Power Engineering Inc.

6380 Tomken Rd, Unit 1, Mississauga, ONT, Canada L5T 1Y4, (905) 564-4977 FAX: (905) 564-4979

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FÖRSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olaf Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 25 30. Telefax: 08-677 25 35. E-post: info@elforsk.se