

Estimation of asset insulation condition by the Monte Carlo method

Mareks Zviedritis (*Riga Technical University*)

Keywords – Partial discharge, reliability, prognosis, insulation.

I. INTRODUCTION

Disturbances of an electrical supply usually are caused by unpredicted failures of electrical equipment. Main reasons for failures are too fast degradation of insulation, network grounding method, installation and used material quality. All mentioned causes are bonded and can't be observed independently outside of this context. Pinpointing of potential failure is onerous by fact that power supply lines are built or rebuilt as cable line in recent years and there are very least options for maintenance personnel to make a visual inspection and assess the condition of the insulation since cable lines are buried underground.

II. OVERVOLTAGE IN THE DISTRIBUTION NETWORK OF LATVIA

Historically medium voltage distribution network was developed as isolated neutral system. One of the benefits of this type of grounding is that it is possible to operate the network during sustained 1 phase ground fault. It shall be kept in mind that during ground faults voltage in undamaged phases increase up to line voltage as well as insulation is unfavorably heated due to increased currents.

A. Distribution network grounding methods

In mixed (cable and overhead) 20kV network with ground fault up to $I_c \leq 20A$ isolated neutral system is preferred which doesn't have a physical connection to the ground, see Fig. 2. (f.v.)

In case when 20kV network ground fault exceeds $I_c > 20A$ ground fault compensation system is introduced, see Fig. 3. (f.v.) in order to limit the ground fault current below acceptable 20A.

Normally network with explicit cable lines is grounded through the low ohmic resistance creating low ohmic grounded neutral system to prevent large ground fault impact on the electrical equipment reliability and electrical safety, see Fig. 4. (f.v.). Low ohmic grounded system limits the fault current up to 1000A or even less and allows reliable and selective protection tripping at the beginning of the fault.

Spread of the network grounding methods for all 357 feeding substation bus bar sections in Latvia at the 1st of January 2012 is shown in the table I.

TABLE I
AMOUNT OF BUSBARS AND ITS GROUNDING METHOD

Busbar amount, n	Voltage level, kV	Neutral grounding method
124	20	isolated
72	20	compensated
42	10	isolated
19	10	compensated
59	10	low ohmic
41	6	isolated

C. Surge values in context of neutral grounding

At the ground fault experiments in the network with isolated neutral it was discovered that overvoltage during transient process might be as high as 3.5 times the nominal phase voltage [2], which is dangerous value for insulation and sometimes leads to breakdown.

Same experiments in compensated network showed that overvoltage during ground fault transient process doesn't exceed 2,2 times the nominal phase voltage [2].

Overvoltage value depend on the fault resistance during the ground fault either it is purely metallic or intermittent arc.

V. CALCULATION OF PD OCCURRENCE POSSIBILITY

Accordingly to inside the company regulation expected indoor switchgear lifetime is 40 years [4]. Monitoring of PD will be done 20 times every 2 years during asset lifetime. It is estimated that one termination (PD measurement) out of 60 terminations will be with damaged insulation and shall be fixed immediately.

Raw data for Monte Carlo calculation:

- 1 out of 60 terminations is dangerous and insulation degradation process is ongoing that might lead to failure;
- 20 consecutive measurements with interval of 2 years shall pass the PD measurement test;
- There is 50 % probability every PD measurement time that termination is potentially dangerous and will fail sooner than its estimated lifetime as expected;
- Probability shall be calculated with 99% confidence.

Calculation model is set up in the MS Excel software.

For the row of 20 measurements accidental value is selected each time out of 60 variations where one PD measurement outcome is not acceptable, see table II.

TABLE II
RESULTS OF THE 20 MEASUREMENTS FOR 40 YEARS OF EXPECTED ASSET LIFETIME

Measure-ment No. 1	Measure-ment No. 2	Measure-ment No. 3	Measure-ment No. n	Measure-ment No. 20
valid	valid	valid	invalid	valid

It shall be 3583 simulation run to achieve desired precision with same raw data at the input. To find the final value calculation algorithm is run after implementing 3583 simulations.

Second and more accurate calculation gives that it is possible to say with 99% confidence that in 72-74% of PD measurement cases 1 out of 60 terminations in 20 consecutive measurements will be failed or even might cause large scale accident in the network

REFERENCES

- [2] Energy standard LEK 002 „Technical maintenance of electrical equipment”
- [3] J. Rozenkrons, J. Gerhards „Evaluation of full compensation system of ground fault currents in Latvenergo medium voltage distribution networks” RTU, Riga, 2004.
- [4] Technical policy of AS „Sadales tīkls” Riga, 2011.

Izolācijas stāvokļa novērtējums ar Monte Karlo metodi

Mareks Zviedritis (Riga Technical University)

Atslēgvārdi (angl.) – Partial discharge, reliability, prognosis, insulation.

I. IEVADS

Elektroenerģijas piegādes pārtraukumi bieži izraisa neparedzētus elektrisko iekārtu bojājumus.

Galvenais iemesls atteicēm ir pārāk ātrā izolācijas degradācija, novecošanās, tīkla zemējuma metode, izolācijas un izolācijas materiālu kvalitāte. Visi minētie iemesli ir savstarpēji saistīti, un tos nevar novērtēt neatkarīgi ārpus šī konteksta. Pēdējos gados potenciālos bojājumus apzināt ir apgrūtināši, jo elektroapgādes līnijas ir būvētas vai pārbūvētas kā kabeļu līnijas, kuras tiek guldītas zemē un apkopes personālam ir mazākas iespējas veikt vizuālo apskati un novērtēt izolācijas stāvokli.

II. PĀRSLODZES LATVIJAS SADALES TĪKLOS

Vēsturiski vidējā sprieguma sadales tīkls tika izstrādāts kā sistēma ar izolētu neitrāli. Viena no šāda tipa zemējuma priekšrocībām ir tāda, ka tīkls turpinās darboties ar vienu bojātu fāzi uz zemi. Jāsaprot, ka īsslēguma uz zemi laikā sprieguma nebojātā fāzē palielinās līdz līnijas spriegumam un arī izolācijai ir nelabvēlīgi, ka tā tiek sakarsēta strāvas palielināšanās dēļ.

A. Sadales tīkla zemējuma metodes

Jauktais 20kV tīkls (kabeļi un gaisvadu līnijas) ar īsslēguma strāvu uz zemi $I_c \leq 20A$ un ar izolētu neitrāli ir priekšrocība, jo nav fiziska kontakta ar zemi, kas parādīts 2. att.

Ģadījumā, kad 20kV tīkla īsslēguma strāva uz zemi pārsniedz $I_c > 20A$ zemesslēguma kompensāciju sistēma tiek ieviesta, sk. 3. att., lai ierobežotu īsslēguma strāvu zem pieņemtajiem 20A.

Ierasti tīkls ar izteiktām kabeļu līnijām tiek zemēts ar zemu omisko pretestību, kas rada zemas omiskas zemētas neitrāles sistēmu, lai novērstu lielas īsslēguma strāvas uz zemi un ietekmi uz elektroiekārtu drošumu un elektrodrošību, sk. 4. att.

Zemējuma sistēma caur zemomisko pretestību ierobežo īsslēguma strāvu līdz 1000A vai mazāku, kas ļauj droši un selektīvi nostrādāt aizsardzībai bojājuma sākuma brīdī.

Sadalījuma tīkla zemējuma metodes visām 357 barošanas apakšstaciju kopņu sekcijām Latvijā 2012. gada 1. janvārī tiek parādītas I. tabulā.

I. TABULA

KOPŅU SKAITS UN TO ZEMĒJUMA METODES

Kopņu sk., n	Spriegums, kV	Neitrāles zemējuma metode
124	20	izolēta
72	20	kompensēta
42	10	izolēta
19	10	kompensēta
59	10	zemomisks
41	6	izolēta

B. Pārsprieguma izlāde zemētas neitrāles kontekstā

Īsslēguma strāvu eksperimentiem tīklā ar izolētu neitrāli tika atklāts, ka pārsprieguma laikā pārejas procesā tā varētu būt tik augsta ka 3,5 reizes pārsniedz nominālo fāzes spriegumu [2], kas ir bīstama vērtība izolācijai un dažreiz izraisa pat sabrukumu.

Paši eksperimenti kompensētā tīklā parādīja, ka pārsprieguma laikā īsslēguma strāvu pārejas procesā nepārsniedz 2,2 reizes nominālais fāzes spriegums [2].

Pārsprieguma vērtība ir atkarīga no bojājumu pretestības īsslēguma uz zemi laikā vai tīri metāliskā, vai neregulārā loka.

V. PD NOTIKUMU VARBŪTĪBAS APRĒĶINS

Atbilstoši iekšējiem uzņēmuma statūtiem iekšēlu ietaisēm kalpošanas ilgums ir 40 gadi [4]. PD monitoringa tiks atkārtots 20 reizes katrus 2 gadus visa gada gājumā. Tiek novērots, ka viens apvalks (PD mērījums) no 60 mērījumiem būs ar bojātu izolāciju un tas ir jālabo nekavējoties.

Izejas dati no Monte Karlo aprēķinu metodes:

- 1 no 60 mērījumiem ir bīstams un izolācijas degradācijas process turpinās, kas varētu novest līdz bojājumiem;
- 20 secīgiem mērījumiem ar 2 gadu intervālu ir jāiztur PD mērījumu testu;

- Ir 50 % varbūtība, ka katrs PD mērījumu laiks, kurš ir potenciāli bīstams un ātrāk vai vēlāk būs bojāts, nenokalpojot visu prognozēto lietošanas laiku;

- Varbūtība var tikt aprēķināta ar 99% pārliecību. Aprēķinu modelis ir izveidots ar MS Excel programmatūru. Par rindu 20 mērījumiem nejausi vērtība tiek izvēlēta katru reizi no 60 variantiem, kad viens PD mērījumu rezultāts nav pieņemams, skatīt 2. tabulu.

2. TABULA

20 MĒRĪJUMU REZULTĀTS 40 KALPOŠANAS GADIEM

Mērījums No. 1	Mērījums No. 2	Mērījums No. 3	Mērījums No. n	Mērījums No. 20
derīgs	derīgs	derīgs	nederīgs	derīgs

Ir jābūt 3583 simulācijām, lai sasniegtu vēlamo precizitāti izejas datiem pie izejas. Lai atrastu galīgo vērtību, aprēķina algoritmam jāpalaiž 3583 simulācijas.

Otrkārt, precīzi aprēķini dod iespēju ar 99% pārliecību pateikt, ka 72-74% no PD mērījumiem (1 no 60 pārtraukšanas gadījumiem) pēc 20 secīgiem mērījumiem būs neveiksmīgi vai pat var izraisīt liela mēroga negadījumus tīklā.

LITERATŪRA

- [2] Energy standard LEK 002 „Technical maintenance of electrical equipment”
- [3] J. Rozenkrons, J. Gerhards „Evaluation of full compensation system of ground fault currents in Latvenergo medium voltage distribution networks” RTU, Riga, 2004.
- [4] Technical policy of AS „Sadales tīkls” Riga, 2011.

Расчёт ценности состояния изоляции методом Монте Карло

Mareks Zviedritis (*Riga Technical University*)

Ключевые слова (англ.) – Partial discharge, reliability, prognosis, insulation.

I. ВВЕДЕНИЕ

Возмущения в энергоснабжении обычно вызваны непредсказуемыми повреждениями электрооборудования. Главная причина повреждений слишком быстрое старение изоляции, метод заземления сети, изоляция и качество используемых материалов. Все упомянутые случаи ограничены и не могут быть распространены независимо от контекста. Нахождение потенциальных повреждений затруднительно так как линии электроснабжения строятся или перестраиваются, как кабельные линии в последние годы. Слишком мало способов для ремонтного персонала производить визуальную инспекцию и оценивать состояние изоляции с момента, когда кабельную линию закопают.

II. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛАТВИИ

Исторически распределительная сеть среднего напряжения развивалась как система с изолированной нейтралью. Одним преимуществом этого типа заземления является то, что сеть будет функционировать с одной фазой замкнутой на землю. Нужно помнить, что во время замыкания на землю, напряжение в неповрежденной фазе увеличивается до линейного напряжения и изоляция также неблагоприятно нагревается из-за увеличившихся токов.

A. Методы заземления распределительной сети

В смешанных 20 кВ сетях (кабель и воздушная линия) с током повреждения на землю $I_c \leq 20A$ с изолированной нейтралью предпочтительнее, так как не имеют физического соединения с землей (см. Рис. 2., п. в.).

В случае, когда в 20 кВ сети ток повреждения на землю превосходит $I_c > 20A$ система компенсации короткого замыкания на землю включается (см. Рис. 3., п. в.), чтобы ограничить ток ниже допустимых 20 А.

Обычно сеть с концевой кабельной линией заземлено через низкое омическое сопротивление, создавая систему с низоомической заземленной нейтралью, тем самым предотвращая влияние больших коротких замыканий на землю на надежность электрооборудования и электрическую безопасность (см. Рис. 4., п. в.). Система заземления через низоомное сопротивление ограничивает ток короткого замыкания до 1000 А или меньше, позволяя надежно и селективно сработать защите в момент начала повреждения.

Распределение методов заземления сети для всех секций шин 357 питающих подстанций в Латвии на 1 января 2012 показано в таблице I.

ТАБЛИЦА I
КОЛИЧЕСТВО ШИН И МЕТОД ИХ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Количество шин, n	Уровень напряжения, кВ	Метод заземления нейтрали
124	20	изолированная
72	20	компенсированная
42	10	изолированная

19	10	компенсированная
59	10	низоомическая
41	6	изолированная

B. Значения волны перенапряжения в заземлении нейтрали

В эксперименте повреждений на землю в сети с изолированной нейтралью было исследовано, что перенапряжение во время переходного процесса может превышать номинальное значение в 3,5 раза [2], которое опасно для изоляции и иногда приводит к поломкам.

Некоторые эксперименты в сети с компенсируемой нейтралью показывают, что перенапряжения во время переходного процесса при повреждении на землю не превышают 2,2 раза от номинального значения [2].

V. РАСЧЁТ ВОЗМОЖНОСТИ PD ПРОИШЕСТВИЯ

В соответствии с внутренними правилами компании, предполагаемый срок службы уличного выключателя равен 40 годам [4]. Мониторинг PD осуществляется 20 раз каждые 2 года в течение срока службы. Рассчитано, что один (PD-измерение) из 60 перебоев повредит изоляцию и будет устранен незамедлительно.

Необработанные данные для расчёта Монте Карло:

- 1 из 60 повреждений опасно и происходит процесс износа изоляции, что может привести к повреждению;
- 20 последовательных измерений с интервалом в 2 года должны пройти тест PD измерений;
- С 50 % вероятностью каждое PD измерение может привести к потенциально опасному повреждению и тем самым уменьшить предполагаемый срок службы;
- Вероятность может быть посчитана с 99% достоверностью.

Модель для расчётов сделана в пакете MS Excel.

Для ряда 20 измерений выбирается случайная величина из 60 вариаций, где 1 исход PD измерений неприемлем, см. табл. II.

ТАБЛИЦА II

РЕЗУЛЬТАТЫ 20 ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ 40 ЛЕТ ОЖИДАЕМОГО СРОКА СЛУЖБЫ

Измерение No. 1	Измерение No. 2	Измерение No. 3	Измерение No. n	Измерение No. 20
адекватное	адекватное	адекватное	неадекватное	адекватное

Нужно произвести 3583 симуляций, чтобы достичь желаемой точности с одинаковыми данными на входе. Чтобы найти окончательное значение, расчётному алгоритму произвел 3583 симуляций.

Последующие более точные расчёты показали, что с 99% достоверностью можно сказать, что в 72-74% случаев PD измерений 1 из 60 перебоев в 20 последовательных измерениях приведет к повреждению или вызовет широкомасштабную аварию в сети.

ЛИТЕРАТУРА

- [2] Energy standard LEK 002 „Technical maintenance of electrical equipment”
- [3] J. Rozenkrons, J. Gerhards „Evaluation of full compensation system of ground fault currents in Latvenergo medium voltage distribution networks” RTU, Riga, 2004.
- [4] Technical policy of AS „Sadales tīkls” Riga, 2011.