

Л.Б. ЖОРНЯК, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье
В.И. ОСИНСКАЯ, ст. преподаватель, ЗНТУ, Запорожье
А.С. ПАЛЬЦУН, студент, ЗНТУ, Запорожье

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Исследованы пути повышения качества напряжения в сетях энергоемких потребителей электроэнергии. Наличие в электросетях реактивной мощности значительно снижает качество потребляемой электроэнергии, что приводит к потерям мощности, просадкам и перепадам напряжения в линиях электропередач, вынужденному завышению мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей в этих сетях. Предложено техническое решение для снижения добавочных потерь шунтирующих реакторов большой мощности и проведен анализ влияния различных типов обмоточного провода на эти потери.

Ключевые слова: шунтирующий реактор, активные и добавочные потери, транспонированный и подразделенный обмоточный провод, реактивная мощность, экономичность.

Введение. Задачей любой энергосистемы является выработка, передача и распределение электроэнергии требуемого качества и стоимости с минимальным риском для людей и окружающей среды. Наиболее распространенная причина аварийных ситуаций на подстанциях различной мощности во время эксплуатации – это повреждение силовых трансформаторов, высоковольтных выключателей и реакторов, которые являются одними из главных элементов в системе передачи и распределения электрической энергии. В электроэнергетике Украины, также как и в других странах, в настоящее время в эксплуатации находится большое количество силовых трансформаторов, выключателей и реакторов с длительным сроком службы, который, как правило, составляет 25 лет, и значительная часть этого оборудования уже отработала этот нормативный срок [1]. Однако, показатели качества напряжения у потребителей электроэнергии часто не отвечают установленным нормам. Это свойственно как для производственных, так и для городских сетей. Проблема качества электроэнергии тесно связана с надежностью и ресурсом работы различного рода потребителей.

Такие потребители электроэнергии, как трансформаторы, асинхронные двигатели, оборудование для дуговой сварки и другие, имеют переменный магнитный поток, связанный с обмотками, вследствие чего в них индуцируются реактивные э.д.с., обуславливающие сдвиг по фазе (φ) между напряжением и током. Они потребляют как активную, так и реак-

тивную мощности, что приводит к увеличению полной мощности по отношению к активной составляющей мощности в среднем на 20-25 % [2].

Наличие в электросетях реактивной мощности значительно снижает качество потребляемой электроэнергии, что приводит к потерям мощности, просадкам и перепадам напряжения в линиях электропередач, вынужденному завышению мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей в этих сетях. В конечном счете, все эти причины приводят к увеличению себестоимости электроэнергии, что отражается на ее потребителе.

Из трех основных направлений повышения качества электроэнергии (рационализация средств электроснабжения, усовершенствование самих потребителей, использование устройств коррекции качества – регуляторов одного или нескольких параметров электроэнергии [2, 3]) наиболее экономически предпочтительным представляется второе направление, которое позволяет обеспечить номинальную загрузку электродвигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств и т.д. поскольку изменение структуры сети или обновление всех потребителей требует значительных затрат. В частности, одним из основных методов решения данной проблемы является применение шунтирующих реакторов, которые позволяют снизить емкостные токи, избыточную реактивную мощность сети, а также ограничить токи короткого замыкания в линиях электропередач. Кроме того, шунтирующий реактор нормализует в них уровень колебаний напряжения, которые не должны превышать 2 %. Наличие таких реакторов значительно снижает активные потери электроэнергии на 15-20 %, и уменьшает износ коммутационного оборудования высокой стоимости при эксплуатации в 10 и более раз [3]. Опыт эксплуатации шунтирующих реакторов энергоснабжающими организациями показывает, что реакторы с номинальным напряжением 550-800 кВ обладают высокими потерями, измеряемыми сотнями кВт, основу которых составляют потери в обмотке шунтирующего реактора [3, 4].

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ влияния различных типов обмоточного провода, которые применяются в шунтирующих реакторах большой мощности в современном производстве, на добавочные потери. Кроме того, проверка возможности их снижения за счет предложенного технического решения.

Материал и результаты исследования. Как известно, активные потери (пропорциональные квадрату тока и сопротивлению обмотки), а также добавочные потери в обмотке (сумма потерь от вихревых

и циркулирующих токов), составляют полные потери в обмотке. Снижение активных потерь возможно за счет конструктивного увеличения площади сечения обмоточного провода, а соответственно массы, габаритных размеров и, в конечном счете, стоимости реактора. С экономической точки зрения это нецелесообразно. Альтернативным вариантом снижения потерь в обмотке является минимизация добавочных потерь. Такой результат возможно реализовать за счет технического решения, заключающегося в изменении технологии наложения обмоточного провода. Исследования проводились на примере однофазного шунтирующего реактора мощностью 110000 кВАр и напряжением 750 кВ производства ПАТ "Запорожтрансформатор" (рис. 1) для двух вариантов обмоточного провода.



Рис. 1 – Однофазный шунтирующий реактор РОМ – 110000/750

Рассматриваемый шунтирующий реактор изготавливается с обмоткой из подразделенного провода типа ПБП-У с двумя жилами (рис. 2). Для обеспечения необходимой плотности тока, а также из-за недостаточной площади сечения такого провода обмотка наматывается в четыре параллельных провода, что создает определенные технологические трудности. Кроме того, расчеты, проведенные по методике [4, 5] для такого варианта обмотки показали, что общие потери в обмотке равны 134,4 кВт, доля добавочных потерь из которых составляет 21,0 кВт.

Рассмотренный авторами [7] другой вариант обмоточного провода – транспонированный провод ПТБ-У с 12 элементарными проводниками

(рис. 3) позволяет значительно упростить процесс изготовления обмоток. Это позволяет уменьшить добавочные потери в обмотках от вихревых токов благодаря относительно малым размерам элементарных проводников (поскольку добавочные потери пропорциональны квадрату размера сечения), а также практически исключить потери от циркулирующих токов благодаря частой предварительной транспозиции проводов с шагом около 100 мм механизированным способом. Расчеты потерь в обмотке в таком случае показали, что полные потери уменьшились и стали составлять 121,1 кВт, а доля добавочных потерь уменьшилась до 8,9 кВт.

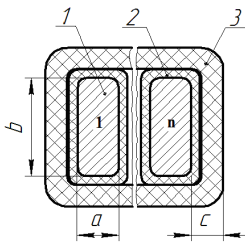


Рис. 2 – Подразделенный обмоточный провод: 1 – токопроводящая жила, представляющая собой медную проволоку прямоугольного сечения, размер которой по стороне a – от 1,4 мм до 4,25 мм, по стороне b – от 7,5 мм до 17 мм, число проводников n – от двух до трех; 2 – изоляция элементарного проводника из лент трансформаторной бумаги; 3 – изоляция провода из лент кабельной и трансформаторной бумаги класса нагревостойкости А, толщина изоляции от 1,36 до 2,96 мм (размер c)

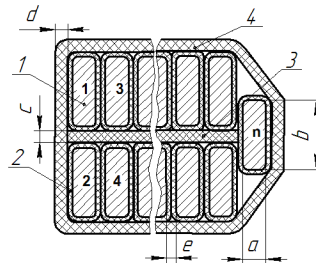


Рис. 3 – Транспонированный провод: 1 – элементарный проводник, представляющий собой эмалированный медный провод прямоугольного сечения, размеры которого по стороне a – от 1,8 мм до 3,55 мм, по стороне b – от 3,75 мм до 8,5 мм, количество проводников n обычно нечетное – от 5 до 35; 2 – изоляция элементарного проводника из лент трансформаторной бумаги, номинальная удвоенная толщина изоляции для транспонированного провода составляет от 2 до 3,6 мм (размер e); 3 – прокладка из кабельной бумаги, (размер c) 0,24 мм; 4 – общая изоляция провода из лент кабельной и трансформаторной бумаги класса нагревостойкости А, толщина которой составляет от 1,36 до 2,96 мм (размер d)

С другой стороны необходимо учитывать возможность снижения электродинамической (механической) стойкости обмоток при коротких замыканиях, от чего они могут быть подвержены радиальным, осевым, тангенциальным деформациям [6]. Эту проблему при производстве шунтирующих реакторов большой мощности можно решить технологически за счет принятия специальных мер для повышения механической прочности и устойчивости при коротких

замыканиях. Например, возможен вариант склеивания элементарных проводников транспонированного провода.

Выводы. Повышение качества электроэнергии за счет снижения реактивной составляющей в линиях электропередач любой энергосистемы страны возможно за счет применения шунтирующих реакторов. Большая часть шунтирующих реакторов, находящихся в эксплуатации энергосистемы Украины, была произведена в СССР, поэтому они не в полной мере отвечают современным требованиям и тенденциям развития электроаппаратостроения, имеют высокие потери, что снижает эффективность энергосистемы в целом.

Поэтому модернизация, направленная на повышение экономичности без ухудшения технико-экономических параметров, в частности за счет новых технических и технологических решений позволит получить экономический эффект за счет снижения себестоимости электроэнергии в общем. Так, применение транспонированного провода вместо подразделенного, при намотке катушек мощных шунтирующих реакторов позволит снизить добавочные потери и уменьшить технологические затраты при изготовлении обмоток. Например, для шунтирующего реактора РОМ – 110000/750 эта величина снижается на 12,1 кВт.

Список литературы: 1. Энергетика світу та України. Цифри та факти. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с. 2. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор) // Электротехника. – 1998. – № 3, С. 10-17. 3. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – К.: Техника, 1981. – 160 с. 4. Лейтес Л.В. Электромагнитный расчет трансформаторов и реакторов. – М.: Энергия, 1981. – 392 с. 5. Методика расчета шунтирующего реактора РОМ 110000/750 – 672762.018 РРЗ ЗТР. 6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 529 с. 7. Панибратец А.Н., Федотов А.И. Перспективные требования к обмоточным проводам для трансформаторов и реакторов // Наука и техника. – 2008. – № 5, С. 12-19.

Bibliography (transliterated): 1. Energetika svitu ta Ukraini., Cifri ta fakti. Kiev: Ukrainski enciklopedichni, 2005. 404 p. Print. 2. Rozanov, U.K., Riabchinskij, M.V. "Sovremenie metodi uluchshenija kachestva el'كتروенергии (analiticheskij obzor)." *El'كتروtehnika*, No. 3. 1998. 10-17. Print. 3. Zhezhenko, I.V. *Pokazateli kachestva el'كتروенергии i ih control na promishlenih predpriyatijah*. Kiev: Technika, 1981. 160 p. Print. 4. Liejties, L.V. *El'كتروmagnitnij raschet transformatorov i rieaktorov*. Moskva: Energiija, 1981. 392 p. Print. 5. Metodika raschieta shuntirujushiego rieaktora ROM 110000/750-672762.018 RRZ ZTR. 6. Tihomirov, P.M. *Raschet transformatorov*. Moskva: Energiatomizdat, 1986. 529 p. Print. 7. Panibratiec, A.N., Fiedotov, A.I. "Pierspiektivnije tribovanija k obmotochnim provodam dlia transformatorov". *Nauka i tiehnika*, No. 5. 2008. 12-19. Print.

Поступила (received) 08.10.2014



Жорняк Людмила Борисовна, кандидат технических наук, доцент. Защитила диплом инженера в Запорожском машиностроительном институте им. В.Я. Чубаря по специальности электрические аппараты в 1982 г, диссертацию кандидата технических наук в Харьковском национальном техническом университете "ХПИ" по специальности электрические машины и аппараты в 2004 г. Доцент кафедры "Электрические и электронные аппараты" Запорожского национального технического университета с 2005 г. Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Осинская Валентина Ивановна, старший преподаватель. Защитила диплом инженера в Коммунарском горно-металлургическом институте по специальности электрические машины и аппараты в 1971 г. Старший преподаватель кафедры "Электрические и электронные аппараты" Запорожского национального технического университета с 2007 г. Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Пальцун Андрей Сергеевич, студент. Запорожского национального технического университета, кафедры "Электрические и электронные аппараты".