

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губенков А.В. Трёхфазная модель асинхронного двигателя с кабелем и пускателем в статорной цепи // Вестн КузГТУ. 2003. №6. С.56-61.
2. Разгильдеев Г.И. Схемы электроснабжения //Шахты Кузбасса /В.Е.Брагин, П.В.Егоров, Е.А.Бобер и др.. -М: Недра, 1994. -Гл.17. -С.292-293.
3. Ещин Е.К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление.- Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 2003.- 247 с.
4. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. Ч. 1. Линейные электрические цепи: Учеб. Для вузов.- 5-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1978 .- 592с. ил.
5. Петров Л.П., Ладензон В.А., Подолов Р.Г., Яковлев А.В. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением. М.-, «Энергия», 1977. 200 с. с ил.
6. Соколов И.А. Пусковые режимы асинхронных электродвигателей в системе электроснабжения горных и транспортных машин: Дисс. канд. техн. наук. -Кемерово.,2003. -146 с.
7. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования: Учеб. пособие для вузов/ Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С., Хелемская С.П.; Под ред. О.Д. Гольдберга -М.: Высш. шк., 2001. 512с.: ил.
8. И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др., Основы теории электрических аппаратов. Учеб. Для вузов. М.: Высш шк. 1987. – 352с.

□ Автор статьи:

Губенков
Александр Вячеславович
- аспирант каф. вычислительной
техники и информационных
технологий

УДК 621.316.94

П. Д. Гаврилов, А. В. Бородин

СРАБАТЫВАНИЕ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ К СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ НЕЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК

Перечислим возможные причины появления тока в заземляющей жиле.

1. Дисбаланс фазных емкостей, т.е. $X_a \neq X_b \neq X_c$. Данный дисбаланс появляется при геометрической не симметрии фазных проводов относительно земли. В симметричной трехфазной системе фазовые емкостные токи в сумме равны нулю [1]. В не симметричной системе сумма емкостных токов не равна нулю, что приводит к появлению тока в заземляющей жиле, который не является следствием снижения $R_{из}$ фаз относительно земли, но может причинить помехи для обнаружения опасных замыканий;

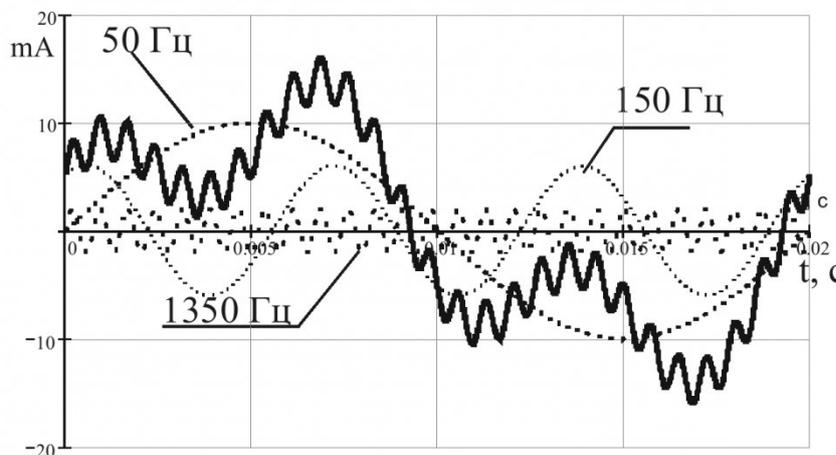
2. Дисбаланс фазного напряжения ($V_{an} \neq V_{bn} \neq V_{cn}$) имеет то же самое действие, как неуравновешенная фазовая емкость. Несимметричность напряжения может быть вызвана

некомпенсированными однофазными нагрузками. Дисбаланс напряжения, объединенный с дисбалансом емкости, увеличивает емкостный ток;

3. При прямом включении двигателя в сеть емкостный ток способен вызвать срабатывание защитного устройства [2]. Ве-

личина тока утечки непредсказуема, и зависит от фазы замыкания контактов и параметров сети;

4. Присутствие гармоник напряжения, кратных основной частоте, возникающих при работе преобразователя частоты, может вызвать срабатывание



Общий ток нейтрального провода и его составляющие

Значения составляющих и дискретных значений преобразования Фурье

№ отсчета	$I_{50}(n)$	$I(n)$	$I_{50}(n) \times \sin(2\pi n/60)$	$I(n) \times \sin(2\pi n/60)$	№ отсчета	$I_{50}(n)$	$I(n)$	$I_{50}(n) \times \sin(2\pi n/60)$	$I(n) \times \sin(2\pi n/60)$
1	0.000	5.196	0.000	0.000	31	1.225e-15	-5.196	0.000	-2.944e-15
2	1.045	7.532	0.109	0.787	32	-1.045	-7.532	0.109	0.787
3	2.079	6.871	0.432	1.428	33	-2.079	-6.871	0.432	1.428
4	3.090	10.189	0.955	3.149	34	-3.090	-10.189	0.955	3.149
5	4.067	6.624	1.654	2.694	35	-4.067	-6.624	1.654	2.694
6	5.000	10.000	2.500	5.000	36	-5.000	-10.000	2.500	5.000
7	5.878	5.223	3.455	3.070	37	-5.878	-5.223	3.455	3.070
8	6.691	7.682	4.477	5.140	38	-6.691	-7.682	4.477	5.140
9	7.431	3.815	5.523	2.835	39	-7.431	-3.815	5.523	2.835
10	8.090	4.693	6.545	3.797	40	-8.090	-4.693	6.545	3.797
11	8.660	3.464	7.500	3.000	41	-8.660	-3.464	7.500	3.000
12	9.135	2.649	8.346	2.420	42	-9.135	-2.649	8.346	2.420
13	9.511	4.719	9.045	4.488	43	-9.511	-4.719	9.045	4.488
14	9.781	2.682	9.568	2.624	44	-9.781	-2.682	9.568	2.624
15	9.945	7.388	9.891	7.348	45	-9.945	-7.388	9.891	7.348
16	10.000	5.000	10.000	5.000	46	-10.000	-5.000	10.000	5.000
17	9.945	10.600	9.891	10.542	47	-9.945	-10.600	9.891	10.542
18	9.781	8.791	9.568	8.599	48	-9.781	-8.791	9.568	8.599
19	9.511	13.127	9.045	12.484	49	-9.511	-13.127	9.045	12.484
20	9.135	12.532	8.346	11.449	50	-9.135	-12.532	8.346	11.449
21	8.660	13.856	7.500	12.000	51	-8.660	-13.856	7.500	12.000
22	8.090	14.577	6.545	11.793	52	-8.090	-14.577	6.545	11.793
23	7.431	12.223	5.523	9.083	53	-7.431	-12.223	5.523	9.083
24	6.691	13.791	4.477	9.228	54	-6.691	-13.791	4.477	9.228
25	5.878	8.435	3.455	4.958	55	-5.878	-8.435	3.455	4.958
26	5.000	10.00	2.500	5.000	56	-5.000	-10.000	2.500	5.000
27	4.067	3.413	1.654	1.388	57	-4.067	-3.413	1.654	1.388
28	3.090	4.081	0.955	1.261	58	-3.090	-4.081	0.955	1.261
29	2.079	-1.537	0.432	-0.320	59	-2.079	1.537	0.432	-0.320
30	1.045	-2.351	0.109	-0.246	60	-1.045	2.351	0.109	-0.246
Сумма								300	300

защиты от утечек [3]. Чем выше частота переключения линейного напряжения, тем меньше емкостное сопротивление $X_c = 1/(2\pi fC)$ и больше емкостная составляющая тока утечки.

Так как трехфазная система является симметричной, то только дисбаланс каждой гармоники вносит вклад в нейтральный ток. В трехфазной системе гармоники трехкратные и синфазные и их сумма во времени является индивидуальной величиной, зависящей от способа переключения силовых ключей.

В существующем реле утечки АЗУР-2 происходит сравнение заданного и фактического

напряжения на транзисторе VT7 [4]. Практика показала, что происходит искажение оперативного напряжения, вызванное бесконтактными переключениями полупроводниковых элементов, что ведет к срабатыванию реле утечки [5]. Даже при полностью исправной изоляции протекает зарядный ток, определяемый емкостью сети относительно земли и фронтом нарастания напряжения. Поэтому данное реле утечки может работать в сетях с общей емкостью сети не более 0,6 мкФ [6].

В аппарате защиты от токов утечки «АРГУС» генератор оперативного тока вырабатывает разнополярные импульсы

определенной формы, а сигналы обрабатываются с помощью микропроцессора [6], но при работе ПЧ с ШИМ неизвестна его реакция на крутые фронты нарастания при переключении полупроводников с несущей частотой 4, 6, 8, 16 КГц.

Существуют также реле защиты, работающие по принципу изменения частоты оперативного напряжения в зависимости от частоты выходного напряжения ПЧ по определенному закону [7]. Их недостатком является неучитывание частоты следования импульсов наводки в контуре заземления при работе ПЧ.

Общим недостатком всех

существующих реле утечки является нормальное их функционирование лишь для определенных емкостей сети относительно земли и неудовлетворительная работа при больших емкостях сети.

Фильтрация тока утечки в реальном масштабе времени решает задачу обнаружения небольших по величине токов замыкания на землю за малое время. Воспользуемся цифровой фильтрацией для построения полосового фильтра, реагирующего на основную частотную составляющую тока нулевой последовательности и игнорирующего другие гармонические составляющие и импульсы. С помощью дискретного преобразования Фурье можно быстро извлечь удельный частотный сигнал из множественно-

частотного сигнала [8].

Для этого воспользуемся упрощенным дискретным преобразованием:

$$I_p = \frac{2}{m} \sum_{n=0}^{m-1} I(n) \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{m}\right),$$

где I_p – амплитуда тока, m – число значений в цикле, n – номер выборки, $I(n)$ – измеренное значение.

Модель настроена для взятия известных номеров выборки в цикле желательной частоты. Рассмотрим пример определения амплитуды тока частотой 50 Гц из общего тока утечки равного сумме токов на 50, 150, 1350, Гц, изображенных на рисунке.

Настроим фильтр на 50 Гц и будем выбирать из выборки с частотой 3КГц:

$$I_p = \frac{2}{60} \sum_{n=0}^{60-1} I(n) \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{60}\right)$$

$$I_p=10.$$

Следовательно, только единственный цикл основной составляющей требуется для расчета: здесь 1/50-ая секунды или 20 ms.

В таблице приведены значения тока для основной составляющей и общего тока, а также отсчеты дискретного преобразования для общего тока и 50 Гц составляющей тока.

Видно, что сумма для основной составляющей та же, что и сумма для общего тока, свидетельствуя, что этот метод осуществления выборки обеспечил достаточно точное измерение основной составляющей, несмотря на присутствие других высших гармоник и импульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2001. 638 с.
2. Лейбов Р. М., Озерной М. И. Электрификация подземных горных работ. – М.: Недра, 1972. 384 с.
3. Траube Е. С., Дукачевич Р. Ю., Шевелкин А. А. Закономерности формирования токов утечки на землю в шахтных сетях с преобразователями частоты. // Безопасная, экономичная и надежная эксплуатация взрывозащищенного электрооборудования. Сборник научных трудов ВНИИВЭ – Донецк, 1990, с.34 – 43.
4. Аппарат защиты от токов утечки унифицированный рудничный АЗУР. // Руководство по эксплуатации.
5. Демидов В. Я., Высоцкий В. П., Малахов Ю.Г. Испытание реле утечки АЗУР на участке сети с полупроводниковым преобразователем частоты. // Безопасность работ в угольных шахтах / Сборник научных трудов ВостНИИ. – Кемерово 1994, с. 183-191.
6. Фролкин В. Г. Аппарат защиты от токов утечки «АРГУС». // Безопасность труда в промышленности. 2001, №2. с. 32.
7. Бабокин Г. И. Развитие теории, методы и средства управления и защиты электромеханических систем горных машин с преобразователями частоты. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МГГУ, 1996.
8. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. 608 с..

□ Авторы статьи:

Гаврилов
Петр Данилович
- канд. техн. наук, доц.
каф.электропривода и автоматизации

Бородин
Андрей Викторович
- аспирант каф. электропривода и
автоматизации