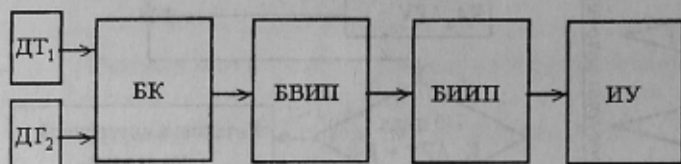


ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ОТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИ ОБРЫВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА

Фёдоров М.М., Денник В. Ф., Черноус В.П.

Донецкий Государственный Технический Университет
aer@dc.dn.ua

Is Grounded electric motors defense actuality of variable current from asymmetric work routine, nascent attached to break of parallel branches of their windings of stators. Is Described action principle of defense device worked up by authors and work logic of his basic knots.



ДТ – трансформаторы тока;
БК – блок компараторов;
БВИП – блок выделения интервалов перекрытия;
БИИП – блок измерения интервалов перекрытия;
ИУ – исполнительное устройство

Рисунок 1 – Структурная схема устройства защиты

Катушечные группы статорных обмоток электродвигателей переменного тока часто включают параллельно. При их эксплуатации не редки случаи, когда одна или несколько из параллельных ветвей обрываются. Выполненные нами исследования [1] показали, что рост температур некоторых узлов машины в таком режиме работы может быть весьма значительным и привести к резкому сокращению срока службы изоляционных материалов обмоток двигателя. Кроме того создаётся предпосылка к серьезной аварийной ситуации, которая может возникнуть при очередном пуске двигателя. Отсюда вытекает

актуальность защиты электродвигателей от такого несимметричного режима работы. Эта актуальность весьма существенна в настоящее время, когда почти отсутствует обновление парка электродвигателей, а многие из них уже выработали свой ресурс.

При обрыве параллельной ветви статорной обмотки фазные токи становятся несимметричными, однако их величины отличаются друг от друга несущественно, особенно при числе параллельных ветвей большем трёх. Об этом свидетельствуют данные табл.1, которая позаимствована из [1] и в которой указаны: n – число параллельных ветвей в каждой фазе статорной обмотки, m_A, m_B, m_C – число оборванных ветвей в фазах А, В и С соответственно.

Таблица 1 - Относительные токи параллельных ветвей, относительные фазные токи и их начальные фазы

Степень несимметрии	Относительные токи параллельных ветвей и их начальные фазы						Относительные фазные токи и их начальные фазы					
	I_{AN}	ψ_{AN}	I_{BN}	ψ_{BN}	I_{CN}	ψ_{AN}	I_A	ψ_A	I_B	ψ_B	I_C	ψ_C
$n=2, m_A=1, m_B=0, m_C=0$	1.2	0	0.917	-109°	0.917	109°	0.6	0	0.917	-109°	0.917	109°
$n=2, m_A=1, m_B=1, m_C=0$	1.15	-11°	1.15	-109°	0.9	134°	0.575	-11°	0.575	-11°	0.9	134°
$n=3, m_A=1, m_B=0, m_C=0$	1.125	0	0.94	-114°	0.94	114°	0.75	0	0.94	-114°	0.94	114°
$n=3, m_A=2, m_B=0, m_C=0$	1.29	0	0.89	-104°	0.89	-104°	0.645	0	0.89	-104°	0.89	-104°
$n=3, m_A=1, m_B=1, m_C=0$	1.08	-8.5°	1.02	-115°	0.806	122°	0.54	-8.5°	0.51	-115°	0.806	122°

В связи с указанным с помощью щитовых приборов (если они даже имеются) выявить такую неисправность затруднительно. Составляющие обратной последовательности этих токов также невелики, что затрудняет применение защит, реагирующих на такие составляющие. Кроме того защиты, реагирующие на токи обратной последовательности, достаточно сложны [2]. В ДонГТУ разработаны устройства защиты электродвигателей переменного тока от несимметричных режимов работы и в том числе имеющих место при обрыве параллельной ветви их статорных обмоток.

Принцип действия этих устройств основан на определении и индикации фазовых сдвигов между статорными токами различных фаз двигателя. Данные табл.1 показывают, что при обрыве параллельной ветви статорной обмотки сдвиги по фазе между линейными токами существенно изменяются по сравнению с симметричным режимом. Это и использовано в работе предлагаемых устройств. На рис.1 приведена

структурная схема одной из модификаций устройства. На вход устройства поступают сигналы, пропорциональные фазным токам защищаемого двигателя. Благодаря компараторам эти сигналы преобразуются в прямоугольные импульсы длительностью в половину периода колебаний в питающей двигатель сети. Эти импульсы поступают на логическую схему (рис.2). На рис.3 приведены осциллограммы сигналов компараторов K_A, K_B, K_C , фиксирующих моменты перехода токов через нуль, для а) симметричного режима; б) несимметричного режима, созданного повышением эквивалентного сопротивления фазы С, в соответствии с векторной диаграммой рис.4. Обработка сигналов компараторов ведется в соответствии со схемой рис. 2 путем их попарного логического умножения. При этом в пределах периода образуются три сигнала перекрытия $\Psi_{AB}, \Psi_{BC}, \Psi_{CA}$. В симметричном режиме эти сигналы равны друг другу по длительности и составляют 60° (рис.3,а).

В случае асимметрии токов сигналы перекрытия $\Psi_{AB}, \Psi_{BC}, \Psi_{CA}$ меняют свою длительность (рис.3,б) в строгой зависимости от степени асимметрии, ее характера и места возникновения. Это значит, что сигналы перекрытия $\Psi_{AB}, \Psi_{BC}, \Psi_{CA}$ несут всю информацию о степени асимметрии, ее месте (т.е. в какой из фаз двигателя следует искать неисправность), а также ее характере (т.е. увеличено или уменьшено эквивалентное сопротивление поврежденной фазы двигателя). Выделение этой информации осуществляется измерением длительности импульсов перекрытия и их идентификации посредством опорного генератора ОГИ, счетчика СТ, исполнительного органа ИО (рис.3). Применительно к условиям асимметрии, показанным на рис.3,б и векторной диаграмме рис.4, имеем увеличение длительности импульсов перекрытия Ψ_{BC}, Ψ_{CA} на угол α , в то время как длительность сигнала Ψ_{AB} уменьшается на угол 2α .

В табл. 2 представлена более полная информация об изменении фаз токов двигателя $\Delta\psi_A, \Delta\psi_B, \Delta\psi_C$ и связанной с этим изменением длительности сигналов перекрытия $\Psi_{AB}, \Psi_{BC}, \Psi_{CA}$ для шести возможных случаев

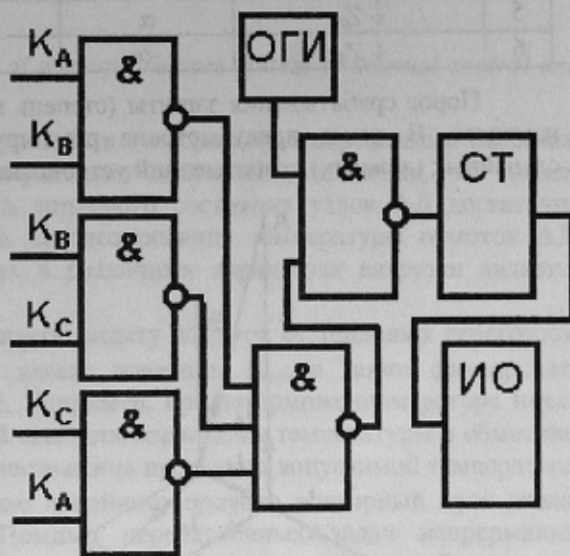


Рисунок 2 – Схема логической части

возникновения асимметрии, обусловленных уменьшением или увеличением эквивалентного сопротивления какой-либо фазы двигателя. Устройство защиты, обрабатывая эту информацию посредством своей логической схемы (рис. 2), позволяет не только зафиксировать факт возникновения асимметрии, но также определить ее характер и место возникновения.

Сущность работы устройства защиты заключается в измерении длительности сигналов перекрытия $\Psi_{AB}, \Psi_{BC}, \Psi_{CA}$ посредством их «наполнения» высокочастотными импульсами, генерируемыми специальным тактовым генератором ОГИ (рис. 2) и их последующей идентификации. Для этого в устройстве применен счетчик СТ количества высокочастотных импульсов. Если токи двигателя образуют симметричную систему, то счетчик импульсов в конце счета будет находиться в состоянии, при котором исполнительный орган ИО (в виде усилителя и выходного реле) находится в выключенном состоянии. При наличии обрыва параллельной ветви статорной обмотки счетчик высокочастотных импульсов в конце счета изменяет свое состояние и подготавливает схему к срабатыванию. Срабатывание исполнительного органа производится после

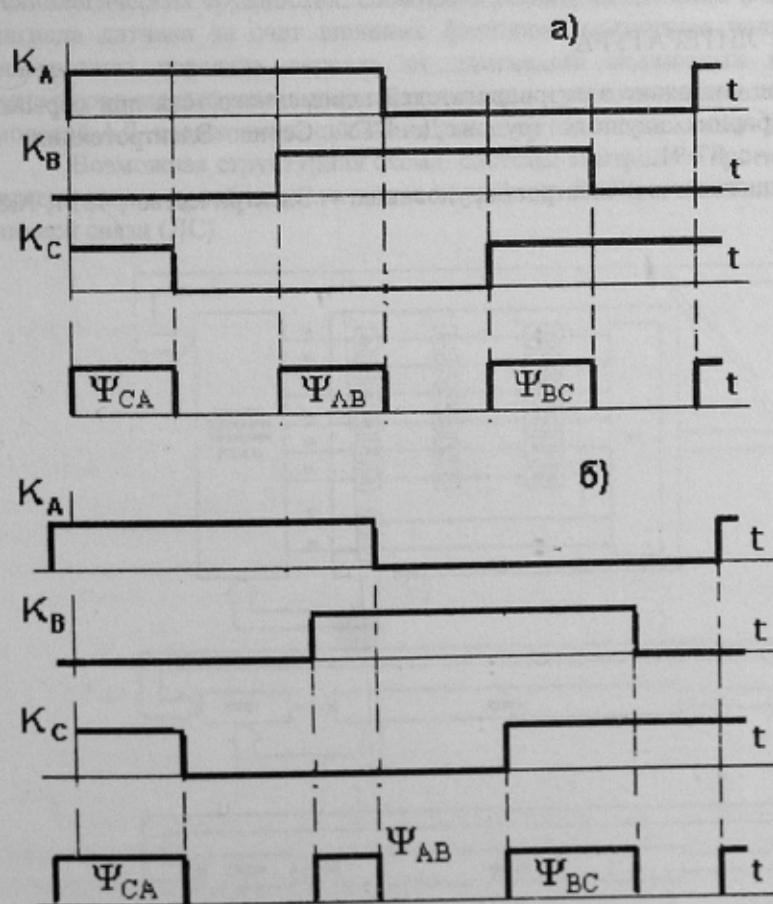


Рисунок 3 – Осциллограммы сигналов компараторов а) симметричный режим; б) не симметричный режим.

нескольких (количество регулируется), следующих друг за другом, сообщений счетчика.

Таблица 2 - Величины рассогласований начальных фаз токов и длительности измеряемых сигналов

№ пп	Изменяется параметр	$\Delta\psi_A$	$\Delta\psi_B$	$\Delta\psi_C$	ψ_{AB}	ψ_{BC}	ψ_{CA}
1	$\uparrow Z_A$	0	α	$-\alpha$	α	-2α	α
2	$\uparrow Z_B$	$-\alpha$	0	α	α	α	-2α
3	$\uparrow Z_C$	α	$-\alpha$	0	-2α	α	α
4	$\downarrow Z_A$	0	$-\alpha$	α	$-\alpha$	2α	$-\alpha$
5	$\downarrow Z_B$	α	0	$-\alpha$	$-\alpha$	$-\alpha$	2α
6	$\downarrow Z_C$	$-\alpha$	α	0	2α	$-\alpha$	$-\alpha$

Порог срабатывания защиты (степень несимметрии контролируемых токов по фазе) можно ступенчато изменять. В схеме предусмотрена регулируемая задержка срабатывания, обеспечивающая отстройку от случайных (ложных) срабатываний устройства защиты.

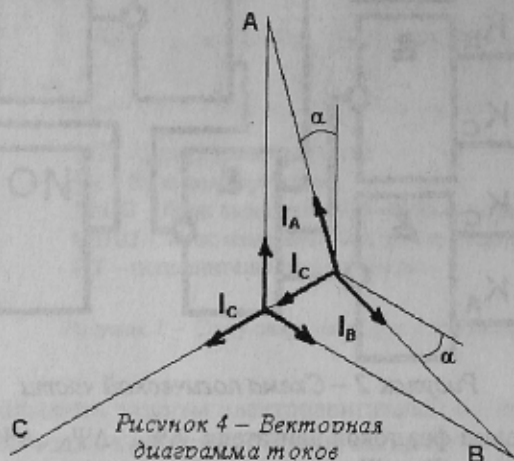


Рисунок 4 – Векторная диаграмма токов

Логическая часть устройства содержит узел, фиксирующий, в какой именно фазе произошел обрыв параллельной ветви статорной обмотки и выдающий соответствующий сигнал (на передней панели устройства загорается один из трех светодиодов). Такой сигнал значительно облегчает поиск места обрыва ветви статорной обмотки.

В устройстве предусмотрен узел его тестирования и проверки правильности функционирования.

Реализовано устройство на базе микросхем серий K155 и K1401.

Опытная партия устройств в количестве 4 шт. была апробирована для защиты синхронных двигателей типа СДСЗ-2000-100 шаровых мельниц в условиях Углегорской ГРЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фёдоров М.М., Денник В.Ф. Тепловое состояние электродвигателей переменного тока при обрывах параллельных ветвей статорных обмоток. Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: Электротехника и энергетика, выпуск 17: Донецк: ДонГТУ, 2000. – с. 87-91.
2. Надточий В.М. Экспертные системы диагностики электрооборудования. – Электричество, 1991, №8, с. 9-16.