

О НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

**Канд. техн. наук, доц. ПРОКОПЧИК В. В.,
инж. ШИРОКОВ О. Г.**

Гомельский государственный технический университет

Внедрение современных технологий в металлургии, химии, нефтехимии и на предприятиях других отраслей промышленности осуществляется путем применения непрерывных производств и процессов, которые предъявляют жесткие требования к надежности внешнего электроснабжения. По надежности электроснабжения электроприемники большинства непрерывных производств относятся к первой категории и в соответствии с ПУЭ внешнее электроснабжение таких предприятий рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. При этом электроснабжение электроприемников первой категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление рабочего режима, рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Названные требования ПУЭ в части независимости и взаимного резервирования источников питания сформировались в 50-е гг. и не учитывают серьезных изменений, происшедших в последнее десятилетие в оснащении агрегатов и линий непрерывного производства средствами автоматизации на базе микропроцессорной техники, в применении частотно-регулируемого электропривода, быстродействующих технологических защит и блокировок и т. п. В связи с этим при выполнении действующих требований ПУЭ к электроснабжению таких предприятий практически каждое короткое замыкание в основных сетях энергосистемы вызывает аварийную остановку или расстройство непрерывных технологических процессов (в основном из-за провалов питающего напряжения). В качестве примера можно привести Белорусский металлургический завод (БМЗ), главные понизительные подстанции 110/10 кВ которого имеют по две питающих линии, являющихся в соответствии с ПУЭ независимыми взаимно резервирующими источниками. Однако производство металлокорда в грозовой период аварийно останавливается 3—5 и более раз в месяц.

Нарушения технологических процессов при кратковременных нарушениях электроснабжения (КНЭ) на предприятиях различных отраслей промышленности имеют свои отличия и особенности [1]. При анализе же влияния КНЭ на работу промышленного электрооборудования основной задачей является выделение тех факторов, воздействуя на которые специальными противоаварийными мероприятиями можно предотвратить нарушения непрерывных технологических процессов [2]. С этой точки зрения важно определиться с понятием «независимый взаимно резервирующий источник питания». Необходимо также характеризовать количественно дополнительные требования к источникам питания, определяемые особенностями технологического процесса.

Независимость источника питания целесообразно характеризовать количественно с помощью таких показателей качества напряжения, как глубина $\delta U_{\text{п}}$ и длительность $\Delta t_{\text{п}}$ провала напряжения в нормальных и аварийных режимах. Требования к источникам питания, обусловленные особенностями технологии, достаточно часто характеризуют через критическое время перерыва питания $t_{\text{кр}}$. Основной задачей противоаварийных мероприятий, проводимых в сетях энергосистемы и в узлах нагрузки (на промышленных предприятиях), является обеспечение таких условий, в которых длительность КНЭ оказывается меньше $t_{\text{кр}}$. Этого можно достигнуть как сокращением длительности КНЭ, так и снижением помехочувствительности электрооборудования (ПЧЭ) предприятий к воздействию КНЭ, т. е. увеличением $t_{\text{кр}}$.

Однако исследования авторов показывают, что особенности технологии в части требований к источникам питания недостаточно характеризовать только критическим временем, так как воздействие на электрооборудование зависит не только от длительности, но и от глубины и характера КНЭ. Оказалось, что более полную информацию об устойчивости ПЧЭ к воздействию КНЭ дает зависимость глубины провалов напряжения от их длительности с делением на зоны устойчивой и неустойчивой работы [1], которую условно можно назвать «граница устойчивости работы ПЧЭ». Смысл этого понятия заключается в том, что при допустимых соотношениях глубины и длительности провалов напряжения по источнику питания ПЧЭ остается в работе, а при достижении некоторого предельного уровня происходит аварийный останов ПЧЭ и непрерывных технологических процессов. Расчеты и эксперименты [3] показывают, что наиболее чувствительным к воздействию КНЭ является электрооборудование непрерывных производств, питающееся от цеховых электрических сетей напряжением 0,4 кВ (регулируемый электропривод переменного и постоянного тока, микропроцессорные системы управления и т. п.).

На БМЗ постоянно ведется регистрация всех КНЭ по питающим линиям 110 кВ с помощью системы «Ostillostore P530». Для подстанции глубокого ввода 110/10 кВ, питающей производство металлокорда, за пятилетний период было зарегистрировано 180 осциллограмм КНЭ. Обработка осциллограмм и анализ поведения электрооборудования производства металлокорда при этих КНЭ позволили установить следующее. Из 173 КНЭ, имевших место по источнику питания № 1 (Л-1), в 48 случаях глубина и длительность провалов напряжения превысили допустимый уровень, и произошла аварийная остановка непрерывного технологического процесса. По источнику № 2 (Л-2) аналогичная ситуация имела место в 58 случаях из 168 КНЭ. В табл. 1 и 2 представлено распределение провалов напряжения по глубине $\delta U_{\text{п}}$ и длительности $\Delta t_{\text{п}}$, выходящих за пределы области устойчивой работы ПЧЭ, которые имели место по линиям Л-1 и Л-2 соответственно.

Анализируя данные табл. 1 и 2, можно отметить, что в большинстве случаев длительность провалов напряжения, приведших к нарушению работы производства металлокорда, не превышает 0,2 с, хотя есть провалы и большей длительности. Такая длительность провалов напряжения объясняется временем ликвидации коротких замыканий в сетях 110–330 кВ и принципиально не может быть уменьшена (определяется быстродействием выключателей и релейной защиты).

Таблица 1

Распределение провалов напряжения по глубине δU_{Π} и длительности Δt_{Π} для линии Л-1

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	0	0	0	0
10 – 25	3	25	11	39
25 – 35	0	4	0	4
35 – 60	0	5	0	5
Всего провалов, шт.	3	34	11	48

Таблица 2

Распределение провалов напряжения по глубине δU_{Π} и длительности Δt_{Π} для линии Л-2

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	0	0	0	0
10 – 25	2	33	14	49
25 – 35	0	5	0	5
35 – 60	0	4	0	4
Всего провалов, шт.	2	42	14	58

Исследования авторов [1] показали, что при длительности провалов напряжения, превышающей 0,05 с, и глубиной более 10 % регулируемый электропривод и микропроцессорные системы управления проволочными станами аварийно отключаются от сети, и происходит останов непрерывного технологического процесса. При глубине же провалов напряжения до 10 % независимо от их длительности ПЧЭ оказываются устойчивыми к воздействию КНЭ.

Уменьшение количества отрицательных воздействий внешних провалов напряжения на цеховые помехочувствительные электроприемники было бы возможно при их электроснабжении от двух источников питания, независимость и взаимное резервирование которых осуществлялось бы не только в послеаварийных режимах, но и в течение коротких замыканий в энергосистеме.

Рассмотрение структуры основных сетей энергосистемы показывает, что распространению электромагнитных помех в форме провалов напряжения по сетям способствует их многократное резервирование, проводившееся в течение длительного периода с целью повышения надежности электроснабжения. В такой ситуации системные источники питания предприятий являются связанными, о чем свидетельствует одновременность появления на них провалов напряжения. В частности, для БМЗ

в табл. 3 приведены провалы напряжения на линии 110 кВ Л-1 при их отсутствии на линии Л-2, а в табл. 4 приведены провалы напряжения на линии Л-2 при их отсутствии на линии Л-1. Если сложить общее количество провалов из табл. 3 и 4, то получится, что только в 20 случаях из 180 не было одновременных провалов напряжения на обоих источниках питания. Таким образом, вероятность одновременного появления провалов напряжения на двух источниках питания БМЗ составляет 0,89. Однако с другой стороны, само существование случаев неодновременности появления провалов напряжения на линиях Л-1 и Л-2 говорит о возможности таких конфигураций схем и режимов работы основных сетей энергосистемы, при которых источники питания предприятия могут быть полностью независимыми.

Таблица 3

Провалы напряжения на линии Л-1 при их отсутствии на линии Л-2

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	4	0	8	12
10 – 25	0	1	0	1
25 – 35	0	0	0	0
35 – 60	0	0	0	0
Всего провалов, шт.	4	1	8	13

Таблица 4

Провалы напряжения на линии Л-2 при их отсутствии на линии Л-1

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	1	0	5	6
10 – 25	0	0	1	1
25 – 35	0	0	0	0
35 – 60	0	0	0	0
Всего провалов, шт.	1	0	6	7

Как следует из табл. 3 и 4, глубина неодновременных провалов напряжения в подавляющем большинстве случаев (12 по линии Л-1 и 6 по линии Л-2) не выходит за границы устойчивости работы ПЧЭ. Только в двух случаях (по одному для линий Л-1 и Л-2) провалы напряжения приводили к отключению чувствительных электроприемников, получающих питание от одного из источников. Однако при осуществлении взаимного ре-

зервирования источников питания Л-1 и Л-2 во время провалов напряжения путем переключения с аварийного на резервный за время, не превышающее допустимое для провала данной глубины, ПЧЭ могли бы остаться в работе и в этих двух случаях. Технически это возможно с помощью устройств быстродействующего автоматического ввода резерва (АВР) как на напряжении 0,4 кВ [4], так и на напряжениях 6–10 кВ [5].

Осуществление быстродействующего взаимного резервирования источников питания во время коротких замыканий во внешних электрических сетях позволило бы также сохранить непрерывные технологические процессы при одновременных провалах напряжения на двух источниках питания при условии, что глубина провала напряжения на одном из них не превышает допустимого значения. Для условий БМЗ в табл. 5 приведены провалы напряжения с параметрами, выходящими из области устойчивости ПЧЭ, для линии Л-1 в случае, когда их характеристики не выходят из зоны устойчивой работы на линии Л-2, а в табл. 6 — провалы напряжения для линии Л-2 в случае, когда их характеристики не выходят из зоны устойчивой работы на линии Л-1.

Таблица 5

**Отключение ПЧЭ при питании по линии Л-1
(ПЧЭ, питающиеся по линии Л-2, работают)**

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	0	0	0	0
10 – 25	1	0	2	3
25 – 35	0	0	0	0
35 – 60	0	0	0	0
Всего провалов, шт.	1	0	2	3

Таблица 6

**Отключение ПЧЭ при питании по линии Л-2
(ПЧЭ, питающиеся по линии Л-1, работают)**

Глубина провала, %	Количество провалов при различной длительности			Всего провалов, шт.
	0,01–0,1 с	0,1–0,2 с	0,2–0,35 с и более	
0 – 10	0	0	0	0
10 – 25	0	9	4	13
25 – 35	0	0	0	0
35 – 60	0	0	0	0
Всего провалов, шт.	0	9	4	13

Таким образом, еще суммарно в 16 случаях с помощью устройств, осуществляющих переключение в момент КНЭ, можно было бы избежать развалов непрерывного технологического процесса.

В целом при использовании быстродействующих АВР количество провалов напряжения, выходящих за границы устойчивости ПЧЭ, составит 44 для линии Л-1 (48 — 1 — 3) и 44 для линии Л-2 (58 — 1 — 13), что в процентном отношении к общему числу случаев КНЭ (180 случаев) составит 24,4 %.

Учитывая особенности непрерывных технологических процессов и возможность осуществления независимости и взаимного резервирования двух источников питания не только в послеаварийных режимах, но и в течение коротких замыканий в энергосистеме, можно сформулировать дополнительное требование, предъявляемое к источникам питания, обеспечивающим непрерывный технологический процесс. Таким требованием является наличие на одном из источников нормального либо не выходящего за границы устойчивости работы ПЧЭ напряжения не только в послеаварийном режиме, но и в момент провала напряжения на другом источнике.

Если к определению понятия «независимые источники питания» подходить, сопоставляя степень их независимости с требуемой для рассматриваемых электроприемников, комплексов электроприемников или узлов нагрузки, то источники питания можно разделить на полностью независимые и относительно независимые.

Под полностью независимыми источниками питания следует понимать такие источники, на которых не происходит одновременных провалов напряжения, т. е. напряжение на одном из источников остается на уровне рабочего при провале напряжения на другом.

Относительно независимыми источниками питания будут тогда, когда на них провалы напряжения происходят одновременно, но при этом остаточные напряжения, по крайней мере, на одном из источников позволяют сохранить устойчивую работу ПЧЭ. Исходя из этого определения относительно независимыми источниками питания можно считать и в случаях одновременного появления на них провалов напряжения, не вызывающих нарушения непрерывных технологических процессов.

В случаях полной и относительной независимости источников питания ПЧЭ можно сохранить в работе, перейдя при необходимости на питание от источника с достаточным уровнем остаточного напряжения. Если же полная и относительная независимость источников питания не обеспечивается, то защитить чувствительные электроприемники от провалов напряжения не представляется возможным.

Так, на примере БМЗ при внешних провалах напряжения в 125 случаях ПЧЭ, получающие питание по линии Л-1, и в 109 случаях ПЧЭ, получающие питание по линии Л-2, оставались в работе, поскольку параметры КНЭ не выходили из области их устойчивой работы. Если бы в схеме электроснабжения БМЗ на напряжении 0,4 кВ были предусмотрены устройства быстродействующего АВР, то дополнительно при питании по линии Л-1 в 4 случаях (1 случай полной и 3 случая относительной независимости источников питания), а по линии Л-2 в 14 случаях (1 случай полной и 13 случаев относительной независимости источников питания) сохранялась бы устойчивость непрерывных технологических процессов к воздействию КНЭ.

ВЫВОДЫ

1. Предлагается уточнить понятие ПУЭ «независимый источник питания» путем нормирования глубины и длительности провалов напряжения на нем при повреждениях в цепи питания второго источника.

2. С целью взаимного резервирования двух источников питания в процессе коротких замыканий в основных сетях энергосистемы конкретизированы дополнительные требования к таким источникам, заключающиеся в необходимости обеспечения хотя бы на одном из них нормального либо не выходящего за границы устойчивой работы ПЧЭ напряжения не только в послеаварийном режиме, но и в момент провала напряжения на другом источнике.

3. Показана возможность сохранения в работе ПЧЭ непрерывных производств путем применения устройств быстродействующего АВР. Однако использование таких средств имеет смысл только при действительной независимости источников питания предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокочик В. В., Широков О. Г. Проблемы электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом // Электрификация металлургических предприятий Сибири. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1997. — С. 56—71.

2. Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е., Окин А. А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 390 с.

3. Прокочик В. В., Широков О. Г. Возможности улучшения электромагнитной совместимости электроприемников предприятий с непрерывным технологическим процессом // Условия присоединения потребителей к сети энергосистем. — М.: ЦРДЗ, 1993. — С. 18—25.

4. Абашин В. П., Облин В. Н., Настюшкин А. В. Быстродействующее устройство АВР для ответственных токоприемников // Промышленная энергетика. — 1978. — № 11. — С. 12—14.

5. А. с. 1683128А1. Устройство для автоматического ввода резерва в системе электроснабжения с вентильными преобразователями / Г. М. Рубашов, Д. И. Аптекарь, С. А. Ковалев и др. // Бюл. изобр. — 1991. — № 37.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 31.03.1999