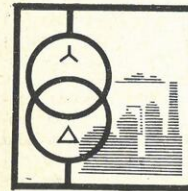


ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА



12





ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ОРГАН МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

12 1978
Декабрь

Журнал основан в 1944 году

СОДЕРЖАНИЕ

День энергетика	2	Балуев Е. Д. — Дополнительные рекомендации по снижению коррозии в системе котел — бойлер	20	
ЛУЧШИЕ ЛЮДИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ				
Наставник молодежи	4	ПРОЕКТНЫЕ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАЗРАБОТКИ		
Знак «Шахтерская слава» у энергетика	5	Вейнгер А. М., Серий И. М., Банко Н. А., Садчиков К. Г., Савельев А. С., Мыльников Ю. Л., Холодов А. И., Гайдабур В. В., Белошабский В. В. — Экспериментальное определение параметров компенсированного синхронного двигателя	21	
Заслуженный инженер республики	5	Пацкан А. Я., Золотарев А. И., Дубовский А. В., Щелинский А. А. — Автоматическое регулирование частоты вращения дисков вакуум-фильтров с применением приводов переменного или постоянного тока	24	
Теплоэнергетик черной металлургии	6	Долин А. П. — Влияние параметров опор на электродинамическую стойкость шинных линий	26	
Юбилей заслуженного энергетика	6	Федоров А. А., Семичевский П. И. — Методика расчета дополнительных потерь, обусловленных высшими гармониками	29	
Специалист-теплоэнергетик	7	Чертков Ю. П., Баренбаум Ю. М. — Устройство для индикации объектов телеизмерения на диспетчерском щите	31	
Директор проектного института	8	Щуцкий В. И., Сидоров А. И., Ситчихин Ю. В. — К вопросу допустимых токах	32	
ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ				
Мартыросьян А. А., Задов А. П., Рассказова А. Я. — Опыт Бакинского нефтеперерабатывающего завода по экономии энергоресурсов	8	Базылин В. Г., Бузальский В. Е., Иванов В. Б., Минеева А. Р., Семенов Н. И. — Газовая горелка с регулируемым длиной и светимостью факела	34	
Олейников В. К., Махнев А. М., Патшин Н. Т., Касимов И. А., Жубит В. К. — Планирование электропотребления в производстве железорудных концентратов	10	Крыленко В. И., Агеева Т. А. — Разработка рациональной схемы улавливания окислов серы из дымовых газов котлоагрегатов	34	
Псажис Б. И., Попов А. В., Большаков В. И., Горшков В. Г. — Методы эффективного использования низкочастотных ВЭР химических производств	12	ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА		
ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА				
Попов В. П., Заславцев Б. И., Мирошкин П. П. — Эксплуатация электрооборудования обогатительной фабрики в период ее освоения	15	Некролог — Борис Апостолович Деллбаш		39
Ильин А. М. — Новые электроизоляционные материалы для двигателей очистных комбайнов и заводных конвейеров	18	Алфавитный указатель статей, помещенных в журнале «Промышленная энергетика» в 1978 г.		40
Шалкин В. В. — Об организации технического обслуживания и ремонта электрооборудования	19			

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д. Н. Багров, Б. Д. Белый, Я. М. Большам, С. И. Веселов (главный редактор), Н. И. Воищенко, П. И. Головкин, В. Л. Громова, Е. А. Джапаридзе, А. П. Егоричев, Б. А. Конгантинов, С. С. Лазарев, Б. Д. Макаршин (зам. гл. редактора), В. В. Михайлов, Б. Б. Онищенко, М. Н. Павлов, Ю. Л. Рыжнев, Н. И. Рябцев, В. И. Савин, Б. В. Сазанов, Б. А. Сечолев, И. А. Шадрухин (зам. гл. редактора).



Адрес редакции: 103012, Москва, К-12, б. Черкасский пер., 2/10. Телефон 221-66-04.

ния (сеть переменного тока)	220/380 + (10 ÷ -15%)
зкн при минимальной частоте	10,6
вления А	50-100
ирования частоты вращения	УМЗП.32.32.31
нагрузки, %	АОС2-42
ый усилитель	

ние годы Бердичевский завод химического ния «Прогресс» начал выпускать вакуум-а «Украина-80» с регулируемым электро-стоянного тока серии ПМУМ-С [Л. 4]. опривод имеет более жесткую характери-стация управления, представленная на окий диапазон регулирования частоты вра-м из недостатков такого привода является енность его к автоматическому управле-

оматического управления электроприводом А-С в сочетании с аппаратурой типа САРФ тан специальный блок управления, состоя-ющего трансформатора Т и выпрями-ста V (рис. 2). Мост V подключен в раз-одвижного контакта датчика скорости ый входит в комплект привода серии ри этом отрицательный вывод выпрямителя к подвижному контакту датчика. Для ия перенапряжения в цепях управления теля в цепь сигнала управления включен ыатель С, механически связанный с осью Контроль частоты вращения электродвигается вольтметром.

матическом режиме работы указатель за-жальном находится в среднем положении. случае при изменении сигнала управления : в частота вращения двигателя будет ме-

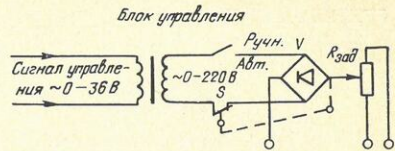


Рис. 2. Блок управления.

няться от 50 до 100% максимального значения. Этого вполне достаточно для регулирования производительности вакуум-фильтра в требуемых пределах.

Достоинствами приведенной схемы блока управления являются ее простота и возможность сохранения заводского монтажа преобразователя ПМУМ-С. С помощью такого блока осуществляется автоматическое регулирование частоты вращения дисков вакуум-фильтров типа «Украина-80» в зависимости от уровня в сборнике флотоконцентра на обогатительной фабрике ПО Ворошиловградглубокобогащение. Станции автоматического управления приводами вакуум-фильтров в составе аппаратуры типа САРФ-3 эксплуатируются на ряде обогатительных фабрик Донбасса и в ПО Южубасс-уголь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация и автоматизированные системы управления в угольной промышленности. Под общей ред. Б. Ф. Братченко. М.: Неара, 1976.
2. Панкан А. Я., Шелинский А. А., Черник Ю. П. Регулятор прямого действия автоматической стабилизации уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра. — Кокс и химия, 1974, № 9.
3. Бойчук Л. М., Костенко Ю. В. Бесконтактные схемы автоматического управления асинхронными двигателями. К.: Техника, 1967.
4. Регулируемый электропривод. Сводный каталог. М.: Информэлектро, 1974, вып. 1.

УДК [621.316.35+621.315.623]:016:352.001.24

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПОР ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ШИННЫХ ЛИНИЙ

Инж. А. П. ДОЛИН

Московский энергетический институт

где приводятся результаты теоретических и тальных исследований влияния параметров на электродинамическую стойкость токопро-ласно [Л. 1-3] максимальные нагрузки на R_{max}, Н, и наибольшие напряжения в ма-и Б_{max}, Па, возникающие при к. з., вычис-формулам

$$\left. \begin{aligned} R_{max} &= \frac{\alpha l}{a} I^2 \max \eta_R, \\ \sigma_{max} &= \frac{\alpha^2}{12aW} I^2 \max \eta_s, \end{aligned} \right\} (1)$$

0-7 Н/А²; l — длина пролета шины, м; a —

расстояние между фазами, м; I_{max} — амплитуда периодической составляющей тока к. з., А; W — момент сопротивления шины, м³; η_R и η_s — коэффициенты максимальной нагрузки на изоляторы и напряжения в материале шины.

Значения коэффициентов η_R и η_s определяются путем решения задачи о колебании балки с распределенной по длине массой на жестких [Л. 1, 2] или упруго податливых [Л. 3] опорах. В общем случае они зависят от частоты собственных колебаний системы шина — изоляторы и постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока к. з. Т_а.

Частота собственных колебаний шинной конструкции f_{оп}, Гц, где k — номер гармоники, определяется из

выражения

$$f_k = \frac{r^2 k}{2\pi I^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (2)$$

где E и J — модуль упругости материала шины, Па, и момент ее инерции, м⁴; m — масса шины на единицу длины, кг/м; r_k — параметр частоты, являющийся функцией c_{оп}³/EJ (c_{оп} — жесткость опоры, Н/м) и M_{пр}/ml (M_{пр} — приведенная масса опоры, кг).

При высокой жесткости опор шин (c_{оп}³/EJ > > 10 000-30 000) параметр частоты основной гармоники r₁ можно считать равным 4,73, а параметр третьей гармоники r₃ — равным 10,996. Четные гармоники собственных колебаний у симметричных (относительно центров пролетов) шинных конструкций не возбуждаются. С уменьшением c_{оп}³/EJ и увеличением M_{пр}/ml параметр частоты r_k снижается, а следовательно, снижаются и частота собственных колебаний системы шина — изоляторы [Л. 3].

При колебании шин в плоскости, перпендикулярной оси изолятора, M_{пр} вычисляются по формуле [Л. 3]:

$$M_{пр} = -\frac{c_{оп}}{(2\pi f_{оп})^2}, \quad (3)$$

где f_{оп} — частота собственных колебаний опоры шины, Гц.

Частоту колебаний опоры желательнее определять экспериментально, однако для некоторых типов опорных конструкций (табл. 1) ее можно найти из выражения

$$f_{оп} = \frac{r^2}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{оп}}{3M}}, \quad (4)$$

где r_{оп} — параметр частоты собственных колебаний опоры шины (рис. 1), зависящий от коэффициента γ [Л. 4], который равен отношению массы шинодержателя M_ш (или изолятора M_{из}), сосредоточенной на конце опоры, к массе изолятора (или опорной колонны M_{кол}), равномерно распределенной по длине.

Подставив выражение (4) в формулу (3), получим:

$$M_{пр} = 3M/r^4_{оп}. \quad (5)$$

Зависимость, приведенная на рис. 1, справедлива при малой кривизне опоры шины, имеющей сосредоточенную на вершине массу. Жесткость элементов опоры должна удовлетворять условиям, указанным в табл. 1.

Определим частоты собственных колебаний опор двух экспериментальных шинных линий напряжением 110 кВ, созданных за рубежом.

Пример 1. Опорный изолятор закреплен на неподвижном основании. Масса изолятора M_{из}=47,6 кг, соединительных зажимов и креплений шины к изолятору M_ш=3 кг, жесткость изолятора c_{из}=1960 кН/м. Поскольку M_ш << M_{из}, параметр частоты принимаем равным 1,875. При этом согласно выражению (4) частота

Таблица 1

Тип конструкции	Соотношение параметров опорной конструкции	Коэффициент γ	Масса элемента опоры М, кг
Опорный изолятор	M _ш << M _{из} c _ш >> c _{из}	1	M _ш + M _{из}
	M _ш ~ M _{из} c _ш >> c _{из}	M _ш /M _{из}	M _{из}
Опорный изолятор на упругой колоде	c _{кол} << c _{из}	M _{из} /M _{кол}	M _{кол}

колебаний опоры f_{оп}=63,5 Гц. Экспериментальное значение f_{оп} составляло 58,9 Гц.

Пример 2. Конструкция с опорными изоляторами, укрепленными на высоких металлических ступенчатых колоннах. Масса колонны M_{кол}=234 кг, жесткость c_{кол}=310 Н/см, высота H_{кол}=8,1 м. Масса изолятора M_{из}=470 кг, жесткость c_{из}=4050 Н/см, высота H_{из}=3,51 м. Примем массу колонны распределенной равномерно, а массу изолятора — сосредоточенной на конце колонны. При этом γ=2,008. По кривой, приведенной на рис. 1, определяем r_{оп}=1. Поскольку c_{кол} << c_{из}, массу M примем равной массе колонны M_{кол}. Тогда согласно выражению (4) частота колебаний опоры f_{оп}=1,05 Гц. Экспериментально полученное значение частоты колебаний опоры составляет 0,96 Гц, т. е. отличается от расчетного только на 9%.

Приближенно значение приведенной массы можно найти следующим образом:

$$M_{пр} \approx M_{оп} \left(\frac{H_{н.т}}{H} \right)^2, \quad (6)$$

где M_{оп} — суммарная масса опоры; H_{н.т} и H — расстояние от основания опоры до центров тяжести опоры и сечения шины.

Значение H_{н.т} определяют по известной формуле

$$H_{н.т} = \sum_{i=1}^n M_i H_i / \sum_{i=1}^n M_i, \quad (7)$$

где M_i и H_i — масса и расстояние от основания опоры до центров тяжести ее отдельных элементов; n — количество элементов.

Значения M_{пр}, вычисленные по формулам (3) и (6) для опоры, рассмотренной в первом примере, равны 12,55 и 14,32 кг, а для опорной конструкции во втором примере — 310,9 и 302 кг. Таким образом, приведенную

Таблица 2

Конструкция шинной линии	l, м	γ, П-м	c _{оп} ³ , Н/м ³	M _{пр} ³ , кг ³	c _{оп} ³ /EJ	M _{пр} ³ /ml	r ₁	r ₃	f _{расч} ³ , Гц ³	f _{расч} ³ , Гц ³	f _{эксп} ³ , Гц ³	f _{эксп} ³ , Гц ³	(f _{эксп} ³ -f _{расч} ³)/f _{эксп} ³ , %
На опрех изоляторах типа ФФ-10-37УЭЗ	0,45	3	630	1,346	21	2,3	3,03	7,97	88,1	237	92-96	—	4-8
	0,15	10	210	1,346	13	2,3	2,62	7,04	63,3	234	39-44	—	44-62
	0,35	3	630	1,346	9,0	1,5	4,07	7,47	73,2	132	59	10 ⁻ -115	15-28
На опрех изоляторах с резинными прокладками	0,45	3	2 0	1,346	125	2,3	2,47	7,03	56,3	233	42	—	34
На жестких опорах	0,45	—	—	—	10 333	—	4,73	10,996	233,5	1116	213-212	—	2-2,5

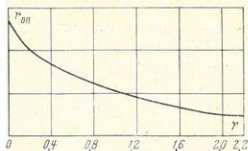


Рис. 1.

достаточно точно можно найти по любой (5) или (6).

Б опор шин определяется экспериментально от многих факторов, но главным образом шинодержателя, изолятора и опорному он крепится, а также от податливости шин.

2 представлена схема одной из установок на жесткости опорных изоляторов. Испытатель 2 крепится на несущей балке 1, под прямым углом к основанию 5, к которой на нижней траверсе 6 разрывной ружка, создаваемая при перемещении поперечной траверсы 9, передается на испытатель метр 8 системы Токаря. Пробег изолятора индикаторами часового типа 7, закрепленные на несущей балке 1. Это позволяет измерять деформацию, обусловленную изгибом балки.

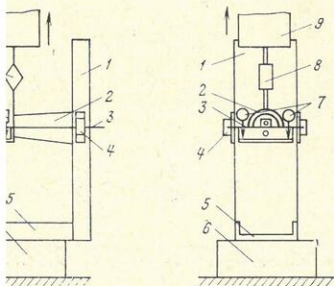


Рис. 2.

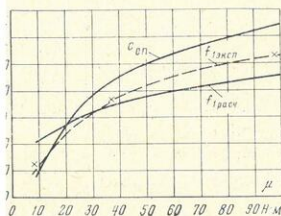


Рис. 3.

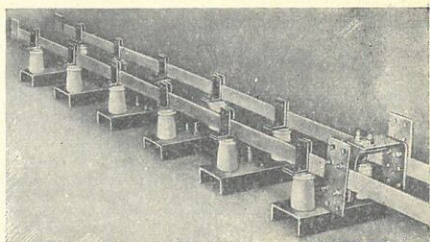


Рис. 4.

Жесткость изоляторов (опор), кН/м, можно найти из выражения

$$c = P/y, \quad (8)$$

где P — приложенная статическая нагрузка, Н; y — прогиб изолятора, мм.

Исследования показали, что зависимость $P=f(y)$, как правило, нелинейна. С изменением нагрузки жесткость изоляторов не остается постоянной, линии нагрузки и разгрузки не совпадают. Это объясняется механическим гистерезисом материала изоляторов и крепежных болтов, а также ослаблением болтовых соединений в процессе испытаний. В ряде случаев на результаты исследований оказывало также влияние качества заделки арматуры изолятора.

Жесткость опоры в значительной мере определяется жесткостью болтовых соединений и степенью их затяжки. На рис. 3 приведена усредненная экспериментальная зависимость жесткости опорных изоляторов типа ОФ-10-375У3 от момента и затягивания крепежного болта этих изоляторов. С уменьшением и резко падает жесткость изоляторов, усиливается нелинейность характеристики $P=f(y)$, становится шире петля нагрузки — разгрузки. Однако для практических расчетов можно использовать линеаризованное выражение (8).

Разброс значений жесткости изоляторов возрастает с уменьшением затяжки крепежного болта и при $\mu = 10-20$ Н·м может достигнуть 25—35% среднего значения. На жесткость изоляторов существенное влияние оказывают установленные под ними прокладки. Например, при замене обычных картонных прокладок резиновыми жесткость изоляторов типа ОФ-10-375У3 уменьшалась в 2—3 раза.

В соответствии с теоретическими исследованиями ослабление болтовых соединений должно приводить к снижению частоты собственных колебаний системы шина — изолятор. Для подтверждения этого были проведены испытания экспериментальной двухпроводной пятипроводной шинной линии с изоляторами указанного типа (рис. 4) и ее модификации с практически абсолютной жесткими опорами. Шины марки АДО прямоугольного сечения (60×8 мм²) устанавливали на ребро и крепили специальными шинодержателями, выполненными из профильной стали и обладающими высокой жесткостью, к опорным изоляторам или к неподвижному жесткому основанию.

Удельная масса шины m составляла 1,301 кг/м, а модуль упругости ее материала E был равен $7 \cdot 10^4$ МПа. Опыты на конструкции с опорными изоляторами, именованными картонные и резиновые прокладки, проводились при длине пролета l 0,45 и 0,65 м. Основные характеристики испытывавшихся шинных конструкций приведены в табл. 2. Значения $M_{пр}$ определяли приближенно по формуле (6).

Экспериментальное значение частоты собственных колебаний шины с жесткими опорами при длине пролета 0,45 м составляло 210—212 Гц. При испытаниях ли-

нии с шинами, установленными на опорных изоляторах ($l=0,45$ м), даже при очень высокой степени затяжки крепежных болтов ($\mu=100$ Н·м) собственная частота колебаний была в 1,7 раза ниже (примерно 125 Гц). В одном из опытов произошло незначительное ослабление болтов, крепежных изоляторы, и собственная частота колебаний шинной конструкции снизилась до 100 Гц. Наступление резонанса привело к разрушению одного изолятора. В последующих опытах была зафиксирована частота колебаний 92—95 Гц, затягивающий момент крепежных болтов изоляторов при этом составлял 35—40 Н·м. Значительное ослабление болтовых соединений ($\mu < 10$ Н·м) привело к снижению частоты колебаний до 40 Гц. На рис. 3 даны экспериментальная и расчетная зависимости частоты собственных колебаний испытывавшейся шинной конструкции от μ .

Экспериментальные значения первых собственных частот колебаний конструкций отличались от расчетных, как правило, на 1,5—3%. Однако для шинных линий с ослабленными болтовыми соединениями и резиновыми прокладками при длине пролета 0,65 м разница между этими значениями достигала 15—62%. Возрастание погрешности, вероятно, обусловлено изменением параметров $C_{оп}$ и $M_{пр}$ по сравнению с принятыми в расчете. Так, при испытании конструкций с ослабленными болтовыми соединениями и резиновыми прокладками наблюдались дальнейшее ослабление болтов и сминаемость прокладок, что в расчетах не учитывалось.

Испытания шинной конструкции с длиной пролета 0,65 м показали, что при прохождении по линии синусоидального (без аperiodической составляющей) тока в основном возбуждаются колебания с частотой третьей гармоники (105—115 Гц), близкой к резонансной (100 Гц). Если ток содержит аperiodическую составляющую, состав электродинамической нагрузки изменяется: кроме постоянной и периодической (100 Гц) возникают экспоненциально затухающая периодическая (50 Гц) и аperiodическая составляющие. В этих опытах

наблюдались свободные колебания с первой собственной частотой, равной 59 Гц. Аналитически найденные значения частот собственных колебаний были на 15—30% ниже экспериментальных, что, по-видимому, вызвано погрешностью при определении $M_{пр}$ по формуле (6).

ВЫВОДЫ

1. Электродинамическая стойкость шинных линий в значительной мере зависит от степени затягивания крепежных болтов изоляторов. Ослабление болтов в процессе эксплуатации может привести к значительному снижению частоты собственных колебаний шинных конструкций, а следовательно, к изменению ожидаемых при к. з. напряжений в шинах и нагрузок на изоляторы.

2. При установке под изоляторами резиновых прокладок вместо обычных картонных снижается жесткость опоры и значительно уменьшается частота собственных колебаний системы шина — изолятор.

3. Искусственно воздействуя на жесткость опор, можно подобрать наиболее оптимальные частоты собственных колебаний шинных конструкций с точки зрения их электродинамической стойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Е. П., Долин А. П., Васильев А. А. Методика расчета частот и опорных изоляторов распределительных устройств напряжением до 35 кВ на электродинамическую стойкость. — Промышленная энергетика, 1975, № 11.
2. Долин А. П. Электродинамическая стойкость изоляторов и шин, расположенных по вершинам треугольника. — Промышленная энергетика, 1977, № 7.
3. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Методика расчета электродинамической стойкости токопроводов напряжением 110 кВ и выше с учетом податливости опор. — Электричество, 1977, № 5.
4. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. М.: Машиностроение, 1970.

УДК 621.3.016.24.001.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЫСШИМИ ГАРМОНИКАМИ

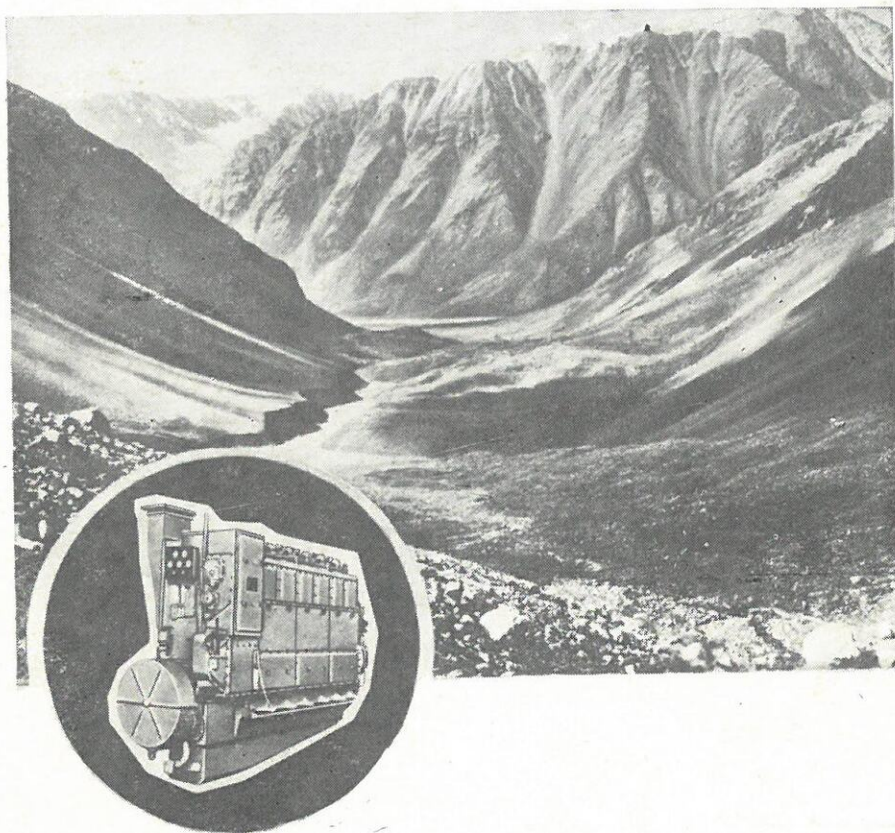
Доктор техн. наук А. А. ФЕДОРОВ, инж. П. И. СЕМИЧЕВСКИЙ
Московский энергетический институт

Полупроводниковые преобразовательные агрегаты все больше вытесняют в металлургической промышленности ртутные и электромашинные преобразователи. Они обладают следующими преимуществами перед ионными преобразователями: более высокий к. п. д.; возможность работы в более широком диапазоне температур окружающей среды; меньшие масса и габариты; малое время отпирания и восстановление управляемости после пропуска тока; меньшие эксплуатационные расходы и т. д. Однако вентиляльные преобразователи, имеющие нелинейную вольт-амперную характеристику, отрицательно влияют на питающую их сеть (нарушают синусоидальность формы кривой напряжения).

Высшие гармоники тока и напряжения вызывают дополнительные потери активной мощности и электрической энергии в элементах системы электроснабжения (ЭС) промышленного предприятия. При этом затруд-

няется применение косинусных конденсаторных батарей из-за возможных резонансных или близких к ним режимов на частотах высших гармоник. Происходит ускоренное старение изоляции электрооборудования вследствие диэлектрического и дополнительного ее нагрева. Высшие гармоники оказывают вредное воздействие на коммутацию трехфазных коллекторных двигателей, а также вызывают ложное срабатывание некоторых устройств релейной защиты, контроля, автоматики, телемеханики и связи. Для исключения указанных явлений нужно снижать уровень высших гармоник до допустимых пределов. Минимизация их осуществляется на основе технико-экономических расчетов по минимуму суммарных приведенных затрат.

В настоящее время не выпускаются приборы, с помощью которых можно непосредственно измерять значения дополнительных потерь активной мощности и



В местах, удаленных от распределительных электросетей, выгоднее всего использовать дизель-электрические агрегаты типа ДГ-66.

Ток	Трехфазный переменный
Напряжение	400/230 или 6300 В
Мощность	630 кВт

Обеспечивается обучение специалистов по техническому обслуживанию и эксплуатации агрегатов, поставляются запасные части.

Экспортер: В/О Энергомашэкспорт, СССР, 127486, Москва, Дегунинская ул., 1, корп. 4. Телефон: 487-31-82. Телекс: 7565.



ENERGOMASHEXPOR

