

**Технические характеристики
генераторов для индукционного нагрева
пятого поколения серии ТПЧ-5
в диапазонах от 50 Гц до 22 кГц, от 25 кВт до 4 МВт
(Обновление 20.06.2016г.)**

1. Основные данные

1.1. ТПЧ — это исторически сложившаяся аббревиатура, обозначающая серию тиристорных преобразователей частоты, применяемых для индукционного нагрева металлов. С 1960 года в серии ТПЧ сменилось 4 поколения (см. [Тиристорный преобразователь частоты — Википедия](#)). Новая серия генераторов 5-го поколения имеет одинаковое обозначение кириллицей и латиницей Т5, или альтернативное обозначение ТПЧ-5, если по контексту сравнивается с серией предыдущего поколения ТПЧ-4. Новая серия Т5 расширена по номенклатуре частот и мощностей по отношению к предыдущим поколениям: частота от 50 Гц до 22 кГц, мощность от 25 кВт до 4 МВт (в одиночном генераторе). Общие условия эксплуатации серии Т5 даны в Табл.1, основные параметры приведены в Табл.2.

Табл.1. Условия эксплуатации серии Т5

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Числовые значения
1	Температура окружающей среды	°С	0 ÷ 40
2	Температура охлаждающей воды на входе, не более	°С	35
3	Влажность окружающего воздуха, до	%	90
4	Уровень запылённости, до	мг/м ³	20
5	Степень защиты оборудования в шкафу, не ниже	IP	55
6	Гарантийный срок Т5 от момента отгрузки	год	2.5

Табл.2. Основные параметры серии Т5

№	Наименование показателей	Ед.	Числовые значения
1	Ряд номинальных мощностей на выходе P_n ^{*1)}	кВт	25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000
2	Ряд номинальных частот f_n ^{*1)} По умолчанию в генераторе предусматривается двукратный диапазон изменения частоты 0.5..1.0 f_n	кГц	0.05(0.06); 0.125; 0.25; 0.5; 1.0; 2.5; 4.0; 8(10); 16; 22
3	Ряд номинальных напряжений на выходе U_n ^{*1)}	В	400; 500; 800; 1000; 1600; 2000
4	Ряд номинальных линейных напряжений U_{ab} сети на входе, 50 или 60 Гц ^{1*)}	В	3x380; 3x550; 3x660; 3x690; 3x1000
5	Допускаемое отклонение напряжения на входе ^{1*)}	%	±5
6	Диапазон регулирования напряжения на выходе: - при номинальном напряжении $U_n=800В$ и ниже - при номинальном напряжении $U_n=1000В$ и выше	В	$100^{*1)} \div U_n$ $200^{*1)} \div U_n$
7	Диапазон регулирования мощности по отношению к максимальной	%	0.1 ÷ 100
8	Допускаемый диапазон изменения параллельной активной составляющей сопротивления контура Re , нормирование выполняется по отношению к значению $Re=R_n$ в номинальном режиме ^{2*)}	Re/Rn	Нет ограничения, любое значение, при котором контур сохраняет колебательные свойства

9	Точность стабилизации напряжения U_e при изменении R_e в 2 раза на любом отрезке диапазона R_e (если нет токоограничения)	%	± 2
---	---	---	---------

*1) По согласованию допускается заказать не нормированное значение.

*2) В ТПЧ предыдущих поколений разрешенная зона: $R_e/R_n=0.5...5$, добротность контура $Q=2...20$. В новой серии Т5 нет ограничений по активному сопротивлению и добротности контура.

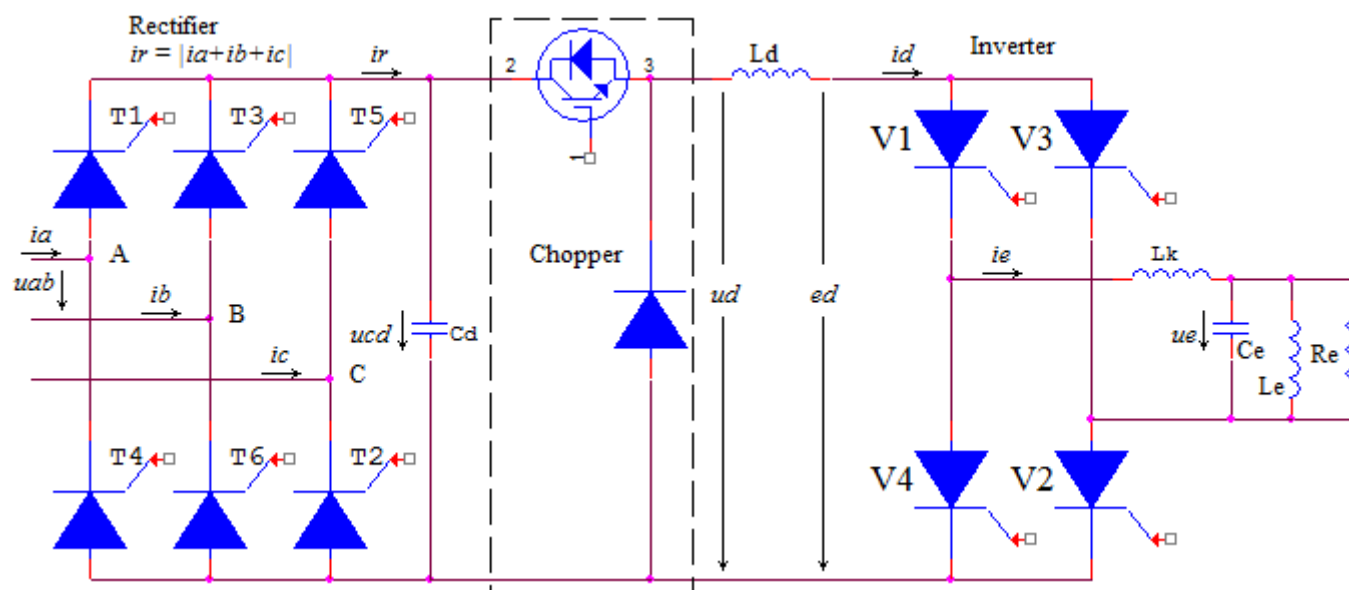


Рис. 1. Базовая схема серии Т5 в диапазоне от 50Гц до 22кГц, от 25кВт до 1.25 МВт

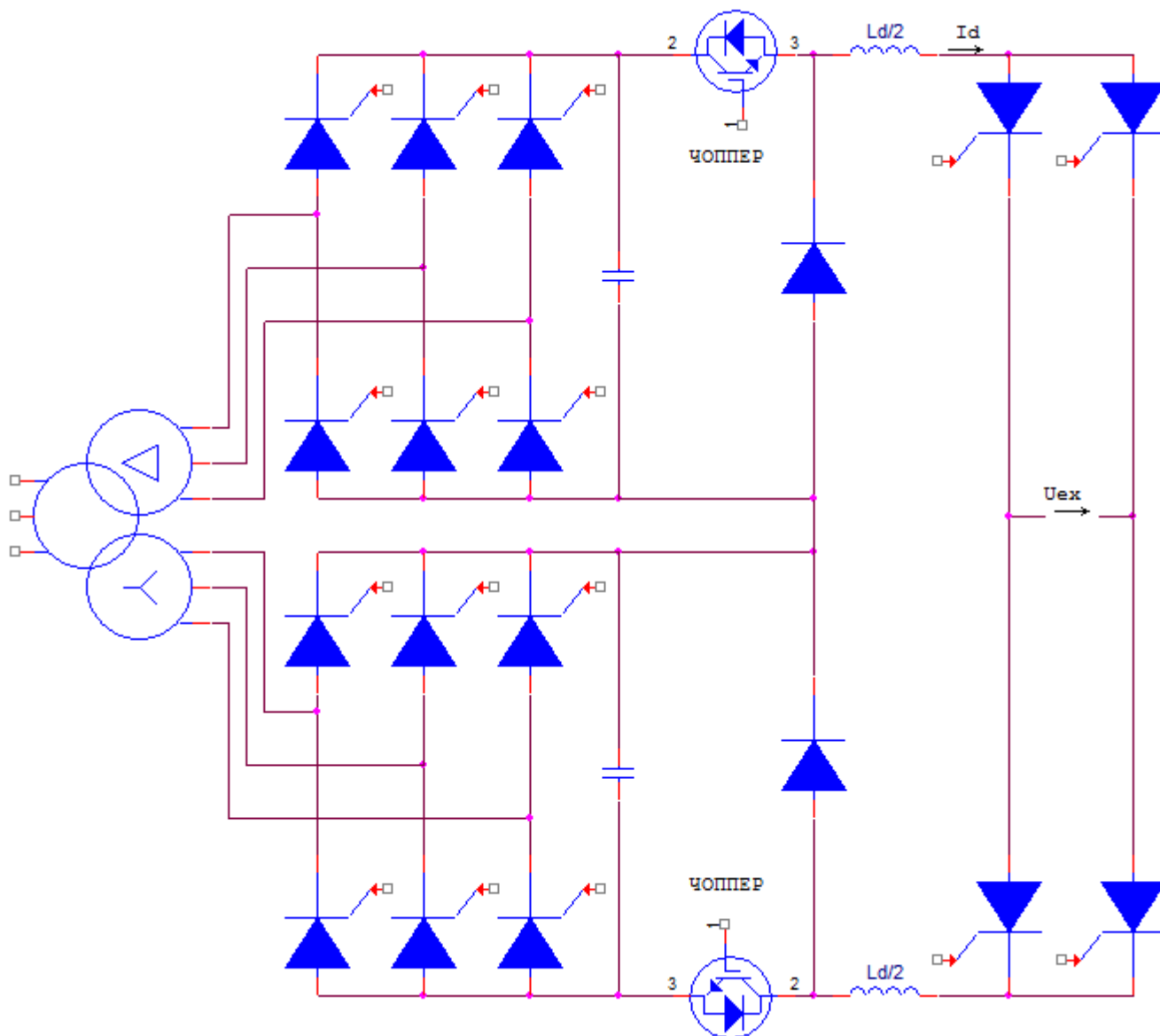


Рис. 2. Схема мощных исполнений Т5С от 1.6 МВт до 4 МВт

1.2. Пример маркировки исполнения генератора:

T	5	M	-	320	-	1.0	-	800	-	380
1	2	3		4		5		6		7

- | | |
|---|--|
| 1. Название серии | 2. Пятое поколение |
| 3. Группа конструкций (A, M, C), п.1.6 | 4. Номинальная мощность на выходе, Табл.2, п.1 |
| 5. Номинальная частота f_n , Табл.2, п.2 | 6. Номинальное напряжение на выходе, Табл.2, п.3 |
| 7. Номинальное напряжение сети, Табл.2, п.4 | |

Генератор должен обеспечить требования по всем пунктам Табл.2 в двукратном диапазоне изменения частоты (50...100% f_n). При этом каких-либо изменений (переключений) в силовом блоке генератора не требуется, меняется только сам контур нагрузки, который собственно задает частоту.

Если диапазон частоты более 2-х кратного (используются несколько контуров), то в поле 5 указываются верхняя и нижняя частоты, разделяемые косой чертой «/».

1.3. Базовая схема Т5 (Рис.1) включает в себя выпрямитель (Rectifier), звено постоянного тока и инвертор (Inverter). На Рис.1 мгновенные значения величин обозначаются строчными буквами курсивом. В таблицах и по тексту в обозначениях средних или эффективных значений ставятся жирные заглавные буквы без курсива, например: средний ток дросселя I_d , эффективное напряжение контура U_e , эффективное линейное напряжение U_{ab} . Звено постоянного тока содержит фильтрующую емкость C_d ,

дроссель Ld и диодно-транзисторный чоппер на базе IGBT (Chopper). Чоппер регулирует ток в дросселе Ld. Параллельный колебательный контур нагрузки CeLeRe подключается к выходу инвертора и определяет выходную частоту инвертора, которая примерно на 3..5% выше резонансной частоты контура.

- 1.4. Чтобы обеспечить оптимальную форму тока в питающей сети, схема мощных исполнений Т5 строится на базе 12-пульсного выпрямителя (Рис.2). Выпрямитель запитан от трансформатора с двумя группами вторичных обмоток, сдвинутых по фазе на 30°, по схеме «звезда» у первой группы и «треугольник» у второй группы. В результате на первичной стороне трансформатора достигается высокое качество формы потребляемого тока (близость к синусоиде).
- 1.5. Номинальные напряжения на выходе генераторов согласуются с номинальными напряжениями конденсаторов контура. По согласованию Изготовителя с Заказчиком могут использоваться нестандартные номинальные напряжения – см. Примечание 1 к Табл.2.
- 1.6. Генераторы Т5 подразделяется на 3 группы по конструктивному исполнению:
- 1.6.1. В группе Т5А (буква “А” от слова “Air”), от 25 кВт до 320 кВт, все тепловыделяющие компоненты охлаждаются воздухом. Полупроводниковые компоненты имеют модульный тип и привинчиваются к общему радиатору, конструкцию см. в п.3.4. При малой мощности, до 80 кВт, вентилятор не ставится – используется естественное охлаждение.
- 1.6.2. В группе Т5М (буква “М” от слова “Module”), от 125 кВт до 500 кВт, используются тиристоры модульного типа, которые привинчиваются к плите с жидкостным охлаждением (водяным). Вода изолирована, не имеет электрического потенциала, поэтому к воде нет жестких требований по чистоте и электропроводности. Допускается использование проточной воды по ГОСТ 16323-79 с учетом дополнительных требований:
- на входе системы должна быть установлена сетка с размерами отверстия не более 1x1 мм;
 - количество нерастворимых осадков (механических примесей) не более 12 мг/л;
 - удельное электрическое сопротивление не менее 4 кОм•см.
- 1.6.3. В группе Т5С (буква “С” от слова “Capsule” – таблетка), от 100 кВт до 4 МВт (в одиночном генераторе), используются тиристоры таблеточного типа с жидкостным охлаждением (водяным). Вода находится под электрическим потенциалом, к ней предъявляются жесткие требования по удельному электрическому сопротивлению: не менее 50 кОм•см. Качество воды должно обеспечиваться посредством двухконтурной системы водяного охлаждения с применением централизованных или индивидуальных теплообменников.
- 1.7. Характеристики генератора в основном определяются типом тиристоров, используемых в инверторе. Типы тиристоров и их основные параметры представлены в Табл.3. Как правило, во всех группах генераторов Т5А, Т5М, Т5С в каждом плече инвертора используется один тиристор. Однако в случае использования тиристоров с малым временем выключения и низким классом могут использоваться два последовательных тиристора в плече.

Табл.3. Основные параметры тиристоров инвертора в группах исполнений Т5А, Т5М, Т5С

№	Изготовитель	Тип тиристора в инверторе	Конструкция	Средний ток, А	Класс, V	Время выключения tq, μs
Конструктивные исполнения Т5А, Т5М						
1	Semikron	SKKT-330/18	Модульная	330	1800	50...150
2	Semikron	SKKT-570/18	Модульная	570	1800	100...200
3	Proton	MTF3-375-15-A2	Модульная	375	1500	16; 20; 25
4	Proton	MTFS3-305-11-A2	Модульная	300	1100	5; 6.3
5	Proton	MTFS3-400-15-A2	Модульная	400	1400	8; 10; 12.5; 16
6	Proton	MTFS3-630-15-A2	Модульная	630	1500	16; 20; 25; 32

7	Proton	МТF3-420-21-A2	Модульная	420	2100	16
Конструктивные исполнения Т5С						
1	Proton	ТБ953-630-36	Таблеточная	630	3600	50
2	Proton	ТБИ233-320-24	Таблеточная	320	2400	25; 32; 40
3	Proton	ТБИ243-630-22	Таблеточная	630	2200	32
4	Proton	ТБИ153-800-15	Таблеточная	800	1500	10; 12.5; 16
5	Proton	ТБИ353-800-34	Таблеточная	800	3400	63; 80; 100
6	Proton	ТБИ153-1000-15	Таблеточная	1000	1500	12.5; 16; 20; 25
7	Proton	ТБИ153-1250-15	Таблеточная	1250	1500	16; 20; 25; 32
8	Proton	ТБИ873-1600-40	Таблеточная	1600	4000	125; 160
9	Proton	ТБЧ123-200-14	Таблеточная	200	1400	6.3
10	Proton	ТБЧ133-400-12	Таблеточная	400	1200	5; 6.3; 8
11	Proton	ТБЧ143-500-11	Таблеточная	500	1100	5; 6.3
12	Proton	ТБЧ343-500-11	Таблеточная	500	1100	5; 6.3
13	Proton	ТБЧ153-800-14	Таблеточная	800	1400	8; 10; 12.5; 16

1.8. Для повышения мощности предусмотрена групповая работа генераторов Т5 на общий контур нагрузки. Например, объединение в группу двух генераторов с единичной мощностью 4 МВт даст суммарную мощность 8 МВт. Кроме группового режима работы также предусматривается одиночный режим работы: пуск и работа одного генератора на контур без отсоединения второго генератора.

1.9. В Табл.2 в пунктах 1...4 представлен Заказчику широкий выбор основных выходных параметров Т5 из стандартных рядов. Реализация широкого выбора обеспечивается Изготовителем Т5 путем использования автоматизированной технологии проектирования под заказ. В каждом конкретном случае Заказчику предлагается вместе с ценами несколько вариантов исполнений, отражающих конкретную потребность Заказчика. Исполнения предоставляются Заказчику в виде стандартных табличных спецификаций (СТС), где кроме основных параметров из Табл.2, пп.1...4, даны также дополнительные параметры:

- максимальные температуры полупроводниковых приборов в области работы Т5;
- максимальные значения тока: в дросселе, на входе и выходе Т5;
- потери в силовых узлах, КПД и выходная мощность Т5 при различных напряжениях и частотах;
- расход воды и перепад давления, мощность и шум вентилятора;
- схема с обозначениями электрических величин;
- массогабаритные показатели.

При необходимости Заказчику оказывается помощь в окончательном выборе исполнения.

1.10. Генераторы ТПЧ предыдущих поколений генерируют высшие гармоники тока в питающую сеть, частота которых в десятки и сотни раз выше частоты питающей сети. Высшие гармоники тока искажают синусоидальную форму кривой напряжения сети и создают помехи другим электро-потребителям, которые подсоединены к этому же узлу сети. Устаревший государственный стандарт ГОСТ 13109-67, скорректированный в 1970 и 1987 годах, и действующий до 01.01.1999 года, предусматривал норму для среднеквадратичного коэффициента несинусоидальности напряжения $KU=5\%$, в подсчет которого входили только 12 гармоник – от 2-ой до 13-ой. В то же время искажение напряжения сети от влияния ТПЧ происходило от более высоких гармоник тока. В результате генераторы ТПЧ до 4-го поколения могли де-юре удовлетворять норме по среднеквадратичному коэффициенту KU , но де-факто создавали помехи другим потребителям.

Новый межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97, соответствующий международным стандартам МЭК, подписанный 9-ю странами и введенный с 01.01.1999 года, предусматривает не только норму для

среднеквадратичного коэффициента $KU=8\%$ (где теперь вводятся 39 членов), но также нормы для отдельных гармонических составляющих от 2-ой до 40-ой и далее до бесконечности.

Силовой фильтр в звене постоянного тока генератора Т5 спроектирован таким образом, чтобы обеспечить нормы для всех гармонических составляющих и одновременно для среднеквадратичного коэффициента KU . Генераторы Т5 допускается подсоединять к узлу сети достаточной мощности при соблюдении правил электромагнитной совместимости. Доказательство соблюдения стандарта смотрите в Приложении [по ссылке](#).

- 1.11. В Табл.4 показаны преимущества серии Т5 по номенклатуре и параметрам по сравнению с аналогичными генераторами других производителей (рассмотрение до 22 кГц).
- 1.12. Генераторы пятого поколения Т5 по отношению к предыдущим поколениям ТПЧ обладают повышенной надежностью и улучшенными характеристиками во всех аспектах эксплуатации – смотрите раздел 2.

Табл.4. Основные параметры генераторов от различных производителей

№	Параметр	Ед.	aljuel.eu Таллинн	termolit.com Украина	reltec.biz Екате- ринбург	inducto therm. ru США	ameri therm. com США	kuraist. narod. ru Уфа	rocindu ktor.ru Челя- бинск
1	Диапазон частот	кГц	0.05÷22	1.0÷8.0	0.15÷10	0.2÷10	0.5÷15	0.5÷22	0.2÷6.0
2	Минимальная/максимальная номинальная мощность (в одиночном генераторе) для исполнений с разными номинальными частотами								
	- 0.05(0.06) кГц	кВт	50/4000	-	-	-	-	-	-
	- 0.125 кГц	кВт		-	-	-	-	-	-
	- 0.25 кГц	кВт		-	800/3600	150/1750	-	-	1000
	- 0.5 кГц	кВт	50/1600	320/3600	200/800		800	100/750	
	- 1.0 кГц	кВт	40/1600	50/630	250/1000	50/320	35/500	63/320	100/750
	- 2.5 кГц	кВт		50/500	160/800	-		63/63	50/200
	- 4.0 кГц	кВт	40/800	50/350	63/320	15/35	20/500	12/100	-
	- 8(10) кГц	кВт	40/400	-	-	-		-	-
	- 16 кГц	кВт	25/200	-	-	-		-	-
- 22 кГц	кВт								
3	Групповая работа на общий контур (п.1.8)		+	-	-	-	-	+	-
4	Варианты охлаждения:								
	- жидкостное		+	+	+	+	+	+	+
	- воздушное		+	-	-	-	-	+	-
5	Соблюдение норм влияния на сеть по ГОСТ 13109-97		+						
6	Универсальность (автоматизированное параметрирование, п.2.16)		+	-	-	-	-	-	-
7	Мульти-частотный режим (п.2.17)		+	-	-	-	-	-	-
8	Черный Ящик (п.2.18)		+	-	-	-	-	-	-
9	Интернет-Диагностика (п.2.19)		+	-	-	-	-	-	-
10	Модельная поддержка пуско-наладки (п.2.20)		+	-	-	-	-	-	-
11	Гарантийный срок (п.4.8)	год	2.5						

2. Улучшенные эксплуатационные технические характеристики генераторов Т5 по отношению к ТПЧ предыдущих поколений

2.1. **Высокий КПД.** Потери в Т5 снижены за счет применения новых технических решений. В классическую схему параллельного инвертора вводится диодно-транзисторный чоппер (на базе IGBT), который дает особенно значительные преимущества по отношению к ТПЧ-4 при низких (ниже 0.5 кГц) и высоких (более

4 кГц) частотах. Ток на входе инвертора прерывистый, пауза тока поддерживается чоппером на ограничении: не менее 5° на частотах до 2.5 кГц, или не менее 10° на более высоких частотах. Преимущества прерывистого режима тока на низких частотах проявляется в том, что значительно уменьшается установленная мощность дросселя и потери в нем за счет снижения индуктивности. Преимущества на высоких частотах проявляется в том, что нет коммутации тока (как в классическом инверторе тока), снижается di/dt , нет коммутационных потерь в тиристорах инвертора и демпфирующих цепях. В результате экономии потерь обеспечивается высокий КПД. Например, в мощном высокочастотном исполнении Т5С-900-10.0-800-660 значение КПД в номинальном режиме равно 97.3%. При частотах до 1 кГц в большинстве исполнений значение КПД выше 98%.

2.2. **Стойкость к коротким замыканиям** – это качество сохраняется в Т5, как и в предыдущих поколениях, как наиболее ценное качество классической схемы. Замыкания внешние (в нагрузке) и внутренние (порча любого силового полупроводника) во всех случаях не приводят к разрушению конструкции и нарушению товарного вида (копоть, брызги расплавленной меди и т.п.). При порче тиристоров и коротких замыканиях в любых точках схемы система защиты выключает IGBT, что приводит к прекращению аварийного тока. Также порча самого IGBT (отказ выключения) не должна повлечь порчу других силовых компонентов, т.к. инвертор остается в работе для поглощения остаточной (на момент аварии) энергии в звене постоянного тока. Противоэдс инвертора препятствует нарастанию аварийного тока в дросселе L_d , пока догорает последняя пара тиристоров выпрямителя. Дальше идет безопасный разряд емкости фильтра C_d на остающийся в работе инвертор. Стойкость к коротким замыканиям является принципиальным достоинством по отношению к транзисторным инверторам напряжения, где отказ выключения IGBT по любым причинам (порча самого IGBT или нарушение в управлении) приводит к тяжелым последствиям и нарушению товарного вида.

2.3. **Оптимальный выбор охлаждения.** Варианты охлаждения описаны в п.1.6. Для исполнений малой мощности предпочтителен воздушный способ охлаждения, естественный или принудительный (группа Т5А). Для оптимизации охлаждения предусмотрена регулировка напряжения на вентиляторе относительно номинального значения $\pm 5\%$. Исключается вопрос «грязной» воды, нет утечек, может обеспечиваться длительная эксплуатация без участия обслуживающего персонала. При относительно малых мощностях, до границы порядка $160 \div 250$ кВт, генераторы группы Т5А относительно дешевы и компактны.

Начиная с мощности порядка $250 \div 320$ кВт более компактны генераторы группы Т5М с водоохлаждаемой плитой. Вода изолирована от электрического потенциала, поэтому плиту допускается охлаждать проточной водой, у которой повышенная электропроводность по сравнению с дистиллированной водой. При отсутствии потенциала в воде исключаются электрические токи, разъедающие штуцера.

Для мощных исполнений, порядка 500 кВт и выше, экономически оправдана таблеточная конструкция Т5С и двухконтурная система охлаждения с применением централизованных или индивидуальных теплообменников, где обмениваются теплом «чистая» (не электропроводная) и проточная вода. Эксплуатационным привлекательным достоинством таблеточной конструкции также являются дешевизна и широкая доступность таблеточных тиристоров после окончания гарантийного срока генератора. В то же время потребитель может купить у изготовителя Т5 любые запчасти (п.4.5).

2.4. **Улучшен тепловой режим** слаботоочного электронного оборудования (система управления) за счет уменьшения температуры воздуха внутри шкафа. При необходимости дроссель выносится в отдельный теплоизолированный вентилируемый отсек, см. пп. 3.3, 3.4. В старых ТПЧ утечка тепла в воздух от водоохлаждаемого дросселя составляла значительную долю, примерно 20...30%, особенно, когда уже на входе в систему охлаждения вода горячая (35°C). Такая утечка тепла вызывала подогрев воздуха в шкафу, что могло вызвать отказы в системе управления при максимально допустимой температуре окружающей среды (40°C) и одновременно при максимально допустимой температуре воды на входе (35°C).

- 2.5. **Выпрямитель открыт**, угол управления поддерживается вблизи точки $\alpha=0$ практически во всей области работы Т5. Косинус сдвига фазы тока в питающей сети близок к 1. В результате экономится реактивная мощность, а также минимальны искажения в сети. Регулировка выпрямителя используется только в некоторых отдельных случаях для исключения энергетически невыгодной формы тока инвертора, а также для плавного пуска Т5. Регулировка выпрямителя при пуске необходима, чтобы, во-первых, избежать броска тока при заряде емкости фильтра, во-вторых, предотвращается тяжелый аварийный режим в случае изначально испорченного силового компонента (например, брак IGBT) или ошибок в силовой части и управлении.
- 2.6. **Уменьшены (исключены) пиковые напряжения** на тиристорах инвертора. Введение чоппера позволяет использовать прерывистый режим тока инвертора. Пиковое обратное напряжение на тиристорах либо нулевое (при определенных сочетаниях входного и выходного напряжений Т5), либо незначительное даже при отсутствии демпфирующих RC-цепей. В результате резко снижается требование по классу тиристоров, снижаются потери в демпфирующих RC-цепях на порядок, или RC-цепи вообще не ставятся. Возрастает надежность инвертора, исключается одна из наиболее частых причин порчи тиристоров – пробой обратным напряжением (в старых ТПЧ – по статистике около 40%).
- 2.7. **Исключен бросок тока** в случае срыва коммутаций инвертора. Бросок тока характерен для ТПЧ предыдущих поколений, и в некоторых случаях опасен, поскольку выпрямитель имеет задержку перехода в инверторный режим при аварийном выключении ТПЧ. Например, если при пустом индукторе произошел случайный срыв коммутаций (по помехе), в результате чего ток увеличился, то, в случае восстановления колебаний (что реально при пустом индукторе) происходит неустранимое увеличение напряжения на нагрузке значительно выше номинального, и создается опасность пробоя тиристоров прямым напряжением. Однако, в Т5 любой аварийный режим в инверторе безопасен благодаря отключению от источника энергии с помощью чоппера.
- 2.8. **Исключается наиболее частая причина порчи тиристоров** – пробой прямым напряжением. В предыдущих поколениях ТПЧ при каких-либо нарушениях потенциально существует опасность подъема напряжения инвертора выше номинального. Когда этот подъем происходит при открытом выпрямителе, его нет возможности остановить и предотвратить вследствие задержки выпрямителя. Этот недостаток является наиболее частой причиной порчи тиристоров – по статистике около 50%. В серии Т5 отключение от источника энергии выполняется чоппером, что надежно предотвращает подъем напряжения.
- 2.9. **Управляемый выпрямитель, чоппер и инвертор – это комбинация, которая имеет свойство взаимной самозащиты**. Если произошел отказ в выпрямителе или инверторе (неважно, в силовой части или управлении), то выключение чоппера приводит во всех случаях к размыканию цепи тока. Если же внезапно произошла порча самого чоппера (отказ выключения IGBT), то инвертор поглощает остаточную энергию звена постоянного тока (см. п.2.2). Двойной случайный отказ одновременно в чоппере и в инверторе настолько маловероятен, что практически нереален. Глобальный отказ, например, потеря одного из напряжений питания в системе управления всегда приводит к выключению чоппера и разрыву цепи тока.
- 2.10. **Эффективность в режиме токоограничения**. При холодном состоянии металла активная составляющая сопротивления нагрузки R_e меньше номинального значения R_n , в результате наступает режим токоограничения - ток поддерживается максимальным, а напряжение снижается. Происходит потеря мощности, что приводит к увеличению продолжительности цикла нагрева. Эффективность генератора оценивается при глубоком токоограничении, обычно в точке $R_e/R_n=0.5$. В старых ТПЧ снижение мощности в точке $R_e/R_n=0.5$ составляет примерно: минус 55...60%. У новых генераторов Т5 выпрямитель открыт, поэтому процент снижения мощности в точке $R_e/R_n=0.5$ значительно меньше, что зависит от соотношения входного и выходного напряжений. Например, при входном напряжении $U_{ab}=660В$ и выходном $U_n=1000В$ изменение мощности в Т5 составляет минус 20%, а при $U_{ab}=380В$ и

$U_n=800V$ (или $1000V$) снижение мощности в Т5 вообще отсутствует – т.е. во всем диапазоне токоограничения $Re/R_n=0.5...1$ мощность равна номинальной. Такой эффект значительно сокращает цикл нагрева.

2.11. **Усовершенствован способ пуска.** Способ пуска (разряд пусковой емкости) в ТПЧ предыдущих поколений требует пусковую емкость не менее 20% от емкости контура. При низких частотах требуются также весьма мощные цепи разряда и заряда в Блоке Пуска. В Т5 изменен способ пуска: чоппер позволяет осуществить пуск Т5, как правило, без пускового устройства (или с незначительной поддержкой упрощенного Блока Пуска при особенно длинной линии к контуру). Соответственно нет подбора пусковой емкости под конкретную нагрузку. Новый способ обладает высоким запасом коммутационной устойчивости, что дает возможность надежного пуска без ограничений – при любом сопротивлении активной составляющей контура (Табл.2, п.8).

Также исключается недостаток старого способа: пожароопасность. В старом способе разрядная цепь подключена параллельно контуру. Поскольку тиристоры Блока Пуска в рабочем режиме находятся под высоким напряжением контура, то потенциально возможен пробой из-за брака по классу, или из-за включения по помехе и других нарушениях управления. Пробой с образованием двусторонней проводимости (КЗ) приведет к тому, что пусковая емкость подсоединится параллельно контуру как добавочная емкость. Инвертор в принципе может продолжать работать (с высоким значением di/dt во время коммутации) до возникновения тяжелой аварии с воспламенением разрядных проводов Блока Пуска и с одновременным выходом из строя тиристоров инвертора. Чтобы избежать воспламенения проводов приходится ставить дорогие высоковольтные предохранители в цепь разряда Блока Пуска. Предохранители спасают от воспламенения, но тиристоры инвертора выходят из строя. Кроме того, сами предохранители иногда выходят из строя при штатном разряде пусковой емкости. Такой случай возможен, когда требуется большая пусковая емкость при достаточно большой емкости контура, что снижает надежность в эксплуатации.

2.12. **Расширен контроль состояния генератора.** Сохраняются датчики тока выпрямителя и инвертора и термоконтакты во всех тепловыделяющих узлах. Трансформатор обратной связи заменяется более надежным датчиком напряжения, в котором меньше ошибка фазового сдвига и шире частотный диапазон. Также вводятся два дополнительных датчика напряжения: для контроля противоэдс инвертора и для контроля напряжения выпрямителя. Такой контроль позволяет надежнее строить систему защиты.

Датчик противоэдс инвертора позволяет контролировать не только прямое, но и обратное пиковое напряжение на тиристорах, что повышает эффективность защиты.

Датчик напряжения выпрямителя полезен тем, что позволяет точнее и надежнее диагностировать сложные аварийные режимы, которые сохраняются в Черном Ящике и параллельно в Базе Данных Интернет-Диагностики ТПЧ. В системе регулирования датчик напряжения выпрямителя не используется, поэтому в случае необходимости допускается подсоединить входные провода датчика в любые другие точки силовой схемы для контроля какого-либо напряжения. После пересылки желаемой Осциллограммы в Черный Ящик или (и) в Базу Данных, рекомендуется вернуть исходное подсоединение.

Сигнал датчика тока выпрямителя используется в системе регулирования и для плавного пуска, а также весьма полезен при анализе аварийных Осциллограмм. Сигнал тока выпрямителя является сборкой фазных токов на входе Т5 (до выпрямителя), чтобы в случае превышения тока в любой фазе максимально быстро снять импульсы выпрямителя. Такая мера предосторожности не является лишней, т.к. в случае аварии выпрямителя исключаются тяжелые последствия: нарушение целостности конструкции и товарного вида преобразователя, выход из строя силового автоматического выключателя, повреждения в питающей сети Потребителя.

Для контроля температуры дросселя L_d используются для повышения надежности и резервирования 2 терморезистора (иногда еще дополнительно 2 термоконтакта).

2.13. **Сохранена приемственность** местного (МПУ) и дистанционного (ДПУ) пультов управления по отношению к предыдущим поколениям ТПЧ. В то же время обеспечивается гальваническая изоляция

контроллера С5 от МПУ и ДПУ. Как и раньше на МПУ имеются кнопки и лампы Пуск, Стоп, Авария, Автомат Q1. Измерительная информация отображается на МПУ по 6-ти каналам: выпрямленное напряжение U_{cd} , выходная мощность P_e , выходной ток (выпрямленный) I_e , среднее напряжение противоэдс E_d , выходное напряжение (выпрямленное) U_e , выходная частота F_e . Для отображения используются 4 стрелочных прибора, что привычнее и комфортнее для визуального восприятия по сравнению с дисплеем. Два стрелочных прибора имеют двойную разметку шкалы и переключатель на две позиции. В итоге 4 прибора обслуживают 6 каналов измерения. В случае аварийного отключения генератора Т5 все показания приборов «замораживаются». Это удобно для контроля предаварийного состояния, т.к. стрелки останавливаются в положении, предшествующем аварии. Сброс аварии (и сброс «заморозки») выполняется кнопкой СТОП. Более полный контроль (мониторинг) состояния Т5 выполняется на персональном компьютере – смотрите п.2.14.

Для оптимальной эргономики измерительные приборы помещены на уровне головы стоящего человека. Контроллер располагается на уровне головы сидящего человека.

2.14. **Каналы USB и RS-422.** В контроллере С5 предусмотрен выход USB для подключения персонального компьютера, где запускается сервисная программа. Эта программа отображает показания 4-х каналов измерений P_e , I_e , E_d , F_e , а также настроечные Константы. Сервисная программа создает удобства для регулировки Констант и их «прошивки». Кроме того, в контроллере С5 предусмотрен выход дальней связи RS-422 (сотни метров) для мониторинга и приема команд автоматики. Команды позволяют задавать выходное напряжение Т5 и тем самым обеспечивать тот или иной закон регулирования температуры заготовки в индукторе. Формат команды и протокол согласовываются с Заказчиком. Дополнительно мониторинг обеспечивается с помощью встроенного в контроллер GSM модема посредством обычной сотовой сети и СИМ карты от любого мобильного оператора.

2.15. Контроллер С5 имеет развитую сервисную систему, охватывающую параметрирование, пуско-наладку и сопровождение Т5 в эксплуатации. Компоненты сервисной системы размещены на сайте www.aljuel.eu на страницах: Service, Diagnostics. Сервисная система включает в себя следующие инструменты:

- **Автоматизированное параметрирование** обеспечивает универсальность генератора Т5 (п.2.16);
- **Мульти-частотный режим Т5** обеспечивает автоматический выбор активного набора настроечных Констант в случае переключения выходных шин Т5 на другой контур (п.2.17);
- **Черный Ящик** обеспечивает автоматическое сохранение (во Флэш-памяти) Осциллограммы аварийного режима в случае его возникновения (п.2.18);
- **Интернет-Диагностика** обеспечивает фундамент «быстрого реагирования» в эксплуатации (п.2.19);
- **Модельная поддержка** обеспечивает получение эталонных Осциллограмм пусковых режимов на математической модели Т5 (п.2.20).

2.16. **Автоматизированное параметрирование** обеспечивает универсальность генератора Т5. Генератор должен обеспечиваться возможностями работы с разнообразными контурами в рамках всех требований по Табл.2. Индивидуальная настройка под конкретный контур обеспечивается на основе автоматизированного параметрирования – конфигурационный файл (КФ) готовится к «прошивке» сервисными средствами. Все настроечные Константы КФ рассчитываются автоматически при вводе индивидуальных параметров контура (емкость, собственная частота, индуктивность линии). «Прошивка» КФ во Флэш-память осуществляется по команде Пользователя. При необходимости сервис предусматривает также коррекцию онлайн отдельных настроечных Констант.

2.17. **Мульти-частотный режим Т5.** Конфигурационный файл (КФ) включает в себя 4 набора настроечных Констант для 4-х различающихся контуров нагрузки, у которых различие собственных частот весьма значительное, например 10-кратное. При пуске Т5 каждый раз автоматически распознается контур и в результате устанавливается активным тот набор Констант, который должен соответствовать данному контуру. Если Т5 работает в пределах 2-х кратного изменения частоты, то все 4 набора Констант устанавливаются, как правило, одинаковыми.

- 2.18. **Черный Ящик** обеспечивает сохранение 5-ти последних аварийных Осциллограмм. Сервисные средства предусматривают удобное считывание Осциллограмм из Флэш-памяти и подробное отображение сигналов в графической форме. Осциллограмма содержит 6 аналоговых и 12 логических сигналов с достаточным разрешением (2 мкс) и охватывает интервал нескольких периодов (или десятков периодов) инвертора для надежного диагностирования характера аварии. Также предусмотрена возможность сохранения не аварийной (штатной) Осциллограммы.
- 2.19. **Интернет-Диагностика.** Каждое сохранение Осциллограммы в Черном Ящике параллельно сопровождается пересылкой Осциллограммы в Интернет. Пересылку осуществляет встроенный в контроллер GSM модем посредством обычной сотовой сети с помощью СИМ карты от любого мобильного оператора. Осциллограммы приходят в базу данных по адресу www.aljuel.eu/c5/index.html , где на веб-странице отображается сводная таблица Осциллограмм со всех генераторов. Разработанная система классификации Осциллограмм, выложенная по адресу www.aljuel.eu/Archive1/Diagnostics/html+pdf/c5-diagnostics.pdf , позволяет по строгим правилам фиксировать для каждой Осциллограммы результат ее подробного обследования – Диагноз. В сводной таблице показаны строгие и краткие записи Диагнозов тысяч Осциллограмм, образующих «базу знаний». Интернет-Диагностика является мощным инструментом, который позволяет Изготовителю Т5 в самых сложных случаях быстро реагировать на возникшую аварийную ситуацию и оказать немедленную помощь Заказчику в гарантийный и послегарантийный период.
- 2.20. **Модельная поддержка** предусматривает бесплатную пересылку Заказчику Осциллограмм пусковых режимов, полученных на математической модели Т5, где заданы фактические параметры контура. Модельные Осциллограммы служат в качестве эталонов для сравнения с фактическими Осциллограммами, что облегчает пуско-наладочные работы.
- 2.21. **Выдерживаются нормы** по допустимому искажению напряжения питающей сети от влияния генератора Т5. Смотрите в п.1.10 ввод в действие нового межгосударственного стандарта ГОСТ 13109-97. Требования к сети по мощности, правила подсоединения Т5 к узлу сети и обеспечение электромагнитной совместимости смотрите в Приложении [по ссылке](#).
- 2.22. Способ охлаждения дросселя Ld в генераторах Т5 воздушный или жидкостный. Охлаждающая жидкость (вода) в дросселе Ld имеет нулевой электрический потенциал – изолирована от обмотки (п.3.1).
- 2.23. **Оценка надежности.** Де-факто генераторы серии ТПЧ предыдущих поколений имеют срок службы 25 лет и более. Дополнительную надежность вносят технические решения пятого поколения, перечисленные выше, в связи с чем, гарантийный срок эксплуатации повышен (п.4.8) по отношению к предыдущим поколениям ТПЧ и по отношению к другим производителям генераторов.

3. Конструкция

- 3.1. В генераторах мощностью до 1.25 МВт используются дроссели с воздушным охлаждением (Рис.3а), а начиная с мощности 1.6 МВт – с жидкостным (водяным) охлаждением (Рис.3б).

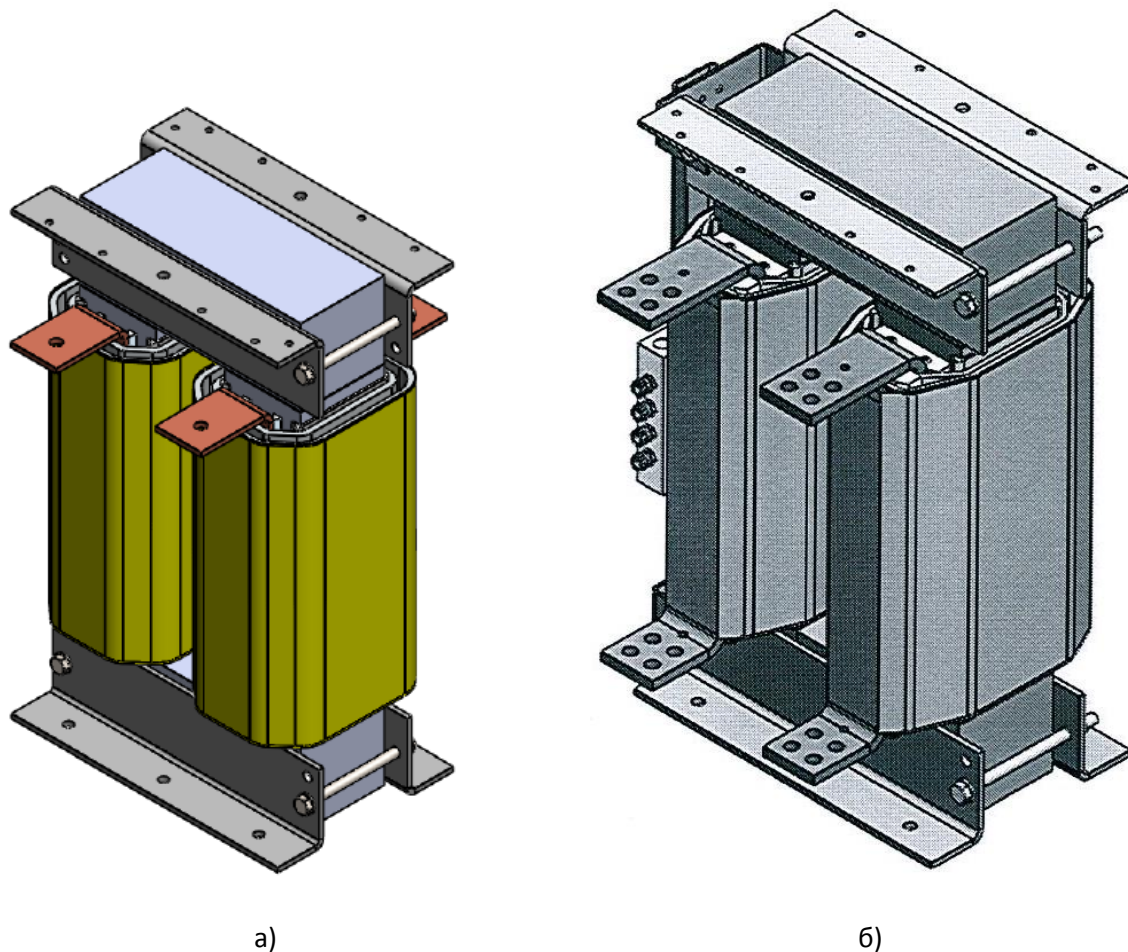


Рис.3. Внешний вид дросселей с воздушным (а) и жидкостным (б) охлаждением

Обмотка обоих типов дросселей выполнена из широких тонких (1мм) алюминиевых листов – фольги. Специальная запатентованная технология обеспечивает контакт алюминиевой фольги с медными наружными выводами. Использование фольги позволяет сочетать минимизацию электрических потерь и хороший отвод тепла как при воздушном, так и при жидкостном охлаждении. Во втором случае внутри обмотки вставляется охлаждающий профиль (спереди и сзади), по которому циркулирует охлаждающая жидкость, электрически изолированная от обмотки (допускается охлаждение проточной водой).

Обмотка дросселя покрыта тремя слоями изолирующей пропитанной лаком бумаги. Дроссель проходит стадию лаковой пропитки, для чего выдерживается в горячей лаковой ванне, после чего проходит многочасовую сушку. Слой лака является эффективной защитой от пыли и одновременно значительно уменьшает шум дросселя. Кроме того, для уменьшения шума используются внутриобмоточные демпферы. По требованию Заказчика может наноситься два или три слоя лака. В последнем случае защита максимальна (технология для подводного использования).

3.2. Дроссель с жидкостным охлаждением имеет 4 канала протока жидкости. Входы и выходы 4-х каналов подведены к раздаточной коробке, которая видна слева сбоку на Рис.3б. На коробке видны 4 входных штуцера каналов охлаждения, а с другой стороны коробки расположены 4 выходных штуцера. Подсоединяя шланговые перемычки к штуцерам, можно включать каналы последовательно или параллельно, а также смешанно. Варианты коммутации каналов охлаждения позволяют оптимально согласовать перепад давления и расход воды дросселя с другой частью системы охлаждения, которая охлаждает полупроводниковый силовой блок.

3.3. Потери, отводимые от дросселя с жидкостным охлаждением, распределяются в пропорции: 80% отводятся жидкостью, 20% уходят в воздух. При необходимости, задача отвода воздушного тепла для

обоих типов дросселей, воздушного и жидкостного, решается путем введения внутришкафной теплоизолирующей перегородки. В нижнем отсеке шкафа помещается дроссель и обеспечивается вентиляция. В верхнем отсеке нет вентиляционных отверстий и обеспечена высокая степень защиты (Табл.1, п.5) электронного оборудования от пыли и влаги без циркуляции воздуха (см. п.3.4).

- 3.4. У конструктивной группы Т5А ребристая часть радиатора заключена в закрытый вертикальный вентиляционный канал, который входит в нижний отсек шкафа. Утечки тепла в воздух со стороны контакта полупроводников с охладителем у всех групп Т5А, Т5М, Т5С незначительные. Утечки тепла отводятся через стенки верхней секции шкафа без принудительной циркуляции воздуха.
- 3.5. Входные три сетевые шины по основному варианту находятся сбоку с левой стороны в верхней части шкафа, альтернативный вариант – сверху. Две выходные шины к нагрузке по основному варианту располагаются внизу, альтернативные варианты – с правой стороны или с задней стороны шкафа. Возможна горизонтальная зеркальная симметрия и другие расположения входных и выходных шин по согласованию при заказе.
- 3.6. Минимальная индуктивность линии к нагрузке не ограничивается, т.е. допускается нулевая индуктивность. Ограничительный дроссель, как в старых ТПЧ, не требуется. Максимально допустимая индуктивность линии обычно с запасом перекрывает наиболее частые применения генератора. В отдельных случаях, при особенно большой индуктивности линии, в генератор вводится поддерживающий Блок Пуска. В большинстве случаев Блок Пуска не требуется.
- 3.7. Генератор Т5 обладает автономностью и высокой монтажной готовностью:
 - Не требуется ограничительный выходной дроссель – см. п.3.6;
 - Не требуется трансформатор для сигнала обратной связи – см. п.2.12;
 - Не требуется отдельный подвод питания для системы вторичного электропитания (системы управления), т.к. вторичное электропитание берется от внутреннего трансформатора, подключенного к силовому входу;
 - В шкафу имеется розетка с изолированным питанием для осциллографа и (или) ноутбука.
- 3.8. Сетевые кабели отдельных генераторов Т5, если их несколько в цеху, должны подключаться отдельными линиями к узлу большой мощности (сетевому трансформатору), т.е. должно соблюдаться правило лучевой разводки питания отдельных генераторов, чтобы исключить неблагоприятное влияние друг на друга (в аварийных режимах). В заказе должны оговариваться длина линии подключения Т5 к узлу сети и мощность узла (нормированная по току короткого замыкания).

4. Цены, сроки, гарантии

- 4.1. Заказчик направляет Изготовителю Т5 заказ в рамках требований Табл.1, Табл.2, пп. 3.5, 3.6, 3.8. При необходимости Заказчик сообщает дополнительные требования. Изготовитель направляет Заказчику вместе с ценами возможные варианты исполнений Т5 в виде стандартных табличных спецификаций (СТС), см. п.1.9. В итоге согласовывается окончательный выбор исполнения. Изготовитель гарантирует Заказчику оптимальный показатель цена/качество.
- 4.2. Если заказ не акцептирован, цена действительна 3 месяца от момента согласования.
- 4.3. В цену включается НДС согласно норме на территории Заказчика (18%). Дополнительно включаются расходы на пошлину и доставку в С.-Петербург, в сумме 6%. Также дополнительно оплачиваются транспортные расходы на доставку от С.-Петербурга к Заказчику. НДС (18%) возвращается Заказчику.
- 4.4. Дистанционная поддержка пуско-наладки и эксплуатационная Интернет-Диагностика входят в цену Т5.

- 4.5. Стандартный комплект ЗИП входит в цену Т5. Комплект ЗИП может быть расширен по отдельному договору. После окончания гарантийного срока Т5 силовые полупроводниковые приборы, тиристоры и транзисторы IGBT, при необходимости продаются Заказчику по согласованным зафиксированным ценам.
- 4.6. Оплата производится тремя частями: 50% предоплата; 40% - оплата перед отгрузкой; 10% - оплата после завершения пуско-наладки.
- 4.7. Срок поставки Т5 составляет 3...4 месяца от момента авансирования 50%.
- 4.8. Гарантийный срок Т5 устанавливается от момента отгрузки (таможенной очистки) стандартно 2.5 года (если иной срок не указан в Договоре).

ALJUEL, Estonia, Tallinn

ООО «НПП Т5-Энергосистемы», С.-Петербург

www.aljuel.eu

(+372) 6-355-088, (+372) 53-731-742

Skype: electrosyst