

## **Руководство по применению инвертора**

---

### **Тепловыделение инвертора**

---

**Toshiba Schneider Inverter Corporation**

Это руководство предназначено только для описания типовых операций и применению продукта. Техническая информация, содержащаяся в этом руководстве, не предоставляет прав интеллектуальной собственности, или других прав, связанных с разрешением на использование или лицензией Компании Toshiba Schneider Electric на передачу третьим лицам для использования этой технической информации или всего продукта.

© Toshiba Schneider Inverter Corporation 2003  
All rights reserved.

---

- СОДЕРЖАНИЕ -

1. Введение.....	3
2. Оценка величины тепловыделения инвертора .....	4
2.1 Зависимость тепловыделения от режима работы инвертора .....	4
2.2 Зависимость тепловыделения от режима работы двигателя .....	5
2.3 Коэффициент компенсации для рабочей частоты .....	6
2.4 Зависимость тепловыделения от значения несущей частоты .....	7
3. Точный расчет величины тепловыделения инвертора .....	8
3.1 Расчет величины тепловыделения в зависимости от режима работы инвертора .....	8
3.2 Расчет величины тепловыделения в зависимости от режима работы двигателя .....	9
3.3 Расчет величины тепловыделения в зависимости от значения несущей частоты .....	10
3.4 Пример расчета величины тепловыделения .....	11
4. Конструкция шкафа при установке инвертора в шкаф .....	12
4.1 Расчет вентиляции для шкафа с принудительным вентилированием .....	12
4.2 Требуемая площадь теплового рассеивания при установке в закрытый шкаф .....	12
Приложение 1: Таблица значений тепловыделения инверторов .....	13
Приложение 2: Расчет величины тепловыделения тормозного резистора .....	19

## 1. Введение

---

Потери энергии, происходящие при преобразовании в инверторе переменного напряжения в постоянное, а, затем, опять в переменное, составляют примерно 5%.

Учитывая, что эти потери энергии приводят к тепловыделению, следует предотвращать увеличение температуры в случае установки изделия в закрытый шкаф, для чего предусматривать в шкафу принудительную охлаждающую вентиляцию.

Настоящая статья описывает методы преобразования (снижения) величины тепловыделения инвертора и его дополнительных устройств для его нормальной работы:

Глава 2: Оценка величины тепловыделения на основе коэффициента нагрузки инвертора, коэффициента нагрузки двигателя, рабочей частоты и несущей частоты ШИМ.

Глава 3: Расчет величины тепловыделения на основе коэффициента нагрузки инвертора, коэффициента нагрузки двигателя, рабочей частоты и несущей частоты ШИМ.

Глава 4: Необходимая вентиляция для шкафа с принудительной вентиляцией и требуемая площадь теплового рассеивания при установке в закрытый шкаф.

Приложение 1: Таблица значений тепловыделения инверторов.

Приложение 2: Расчет величины тепловыделения тормозного резистора.

### Примечание:

**Расчет тепловыделения инвертора, приведенный в настоящем руководстве, позволит Вам использовать результат вычислений, основанный на Ваших реальных условиях, для обеспечения работы инвертора, гарантированно долгий срок службы.**

**Поэтому, при разработке или выборе шкафа и т.д., рекомендуется учитывать необходимость работы инвертора и дополнительных устройств к нему в заданной границе температуры.**

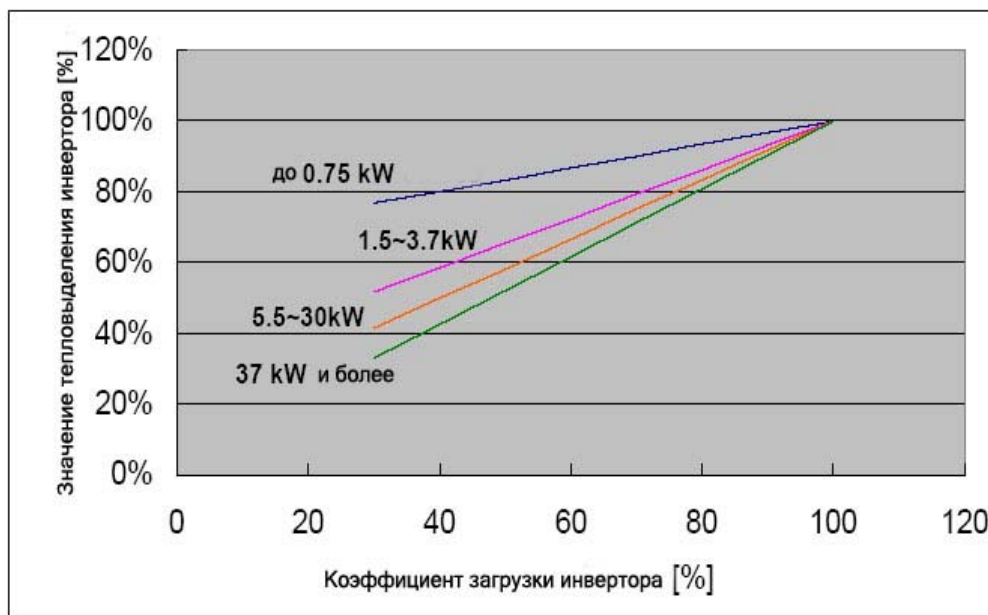
## 2. Оценка величины тепловыделения инвертора

### 2.1 Зависимость тепловыделения от режима работы инвертора

Зависимость величины тепловыделения (Прим 1) от коэффициента загрузки инвертора (Выходного тока инвертора / номинальный ток инвертора  $\times 100\%$ ) может быть описано графиком, приведенным на рисунке ниже.

Однако, данная зависимость приведена для рабочих частот инвертора, находящихся в диапазоне «30 – 60 Гц.» При использовании инвертора в низкоскоростном диапазоне, пожалуйста, скорректируйте данные значения путем умножения величины тепловыделения на частотах выше 30 Гц на коэффициент зависимости величины тепловыделения от значения рабочей частоты, приведенный в главе 2.3

Рисунок 1. График зависимости тепловыделения инвертора от коэффициента его загрузки.



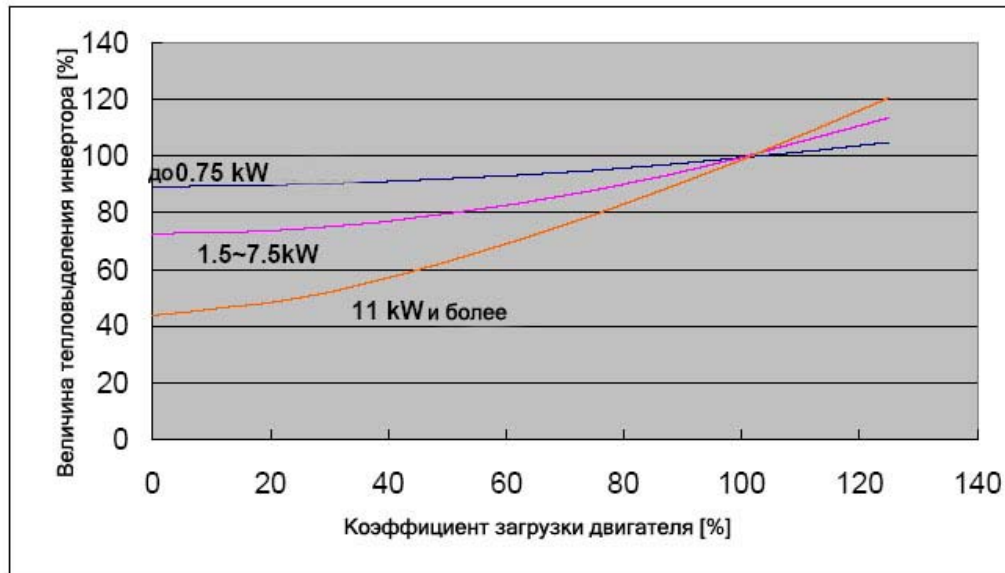
Прим 1: Это значение, равное величине тепловыделения инвертора при номинальном выходном токе.

## 2.2 Зависимость тепловыделения от режима работы двигателя

Зависимость величины тепловыделения (Прим 1) от коэффициента загрузки двигателя (Приложенный крутящий момент / номинальный крутящий момент x 100%) может быть описано графиком, приведенным на рисунке ниже.

Однако, данная зависимость приведена для числа оборотов двигателя в диапазоне « $\frac{1}{2}$  номинального числа оборотов - номинальное число оборотов»

Рисунок 2. График зависимости тепловыделения инвертора от коэффициента загрузки двигателя.



\* Справедливо только при условии равенства номинальных мощностей двигателя и инвертора.

Прим 1: Даже если коэффициент загрузки двигателя = 0, выходной ток инвертора равен току холостого хода двигателя.

### 2.3 Коэффициент компенсации для рабочей частоты.

Коэффициент компенсации выходного тока инвертора (или коэффициента загрузки двигателя), в зависимости от рабочей частоты инвертора, составляет следующие значения:

30 Гц и более:	1,0
15 ~ 29,9 Гц:	1,1
10 ~ 14,9 Гц:	1,2
6 ~ 9,9 Гц:	1,3

Таким образом, при работе инвертора на низких скоростях, пожалуйста скорректируйте значение величины тепловыделения по следующей формуле:

$$\text{Действительное значение тепловыделения при работе на малых скоростях} = \text{Величина тепловыделения} \times \text{Коэффициент компенсации}$$

Следует учитывать, что данная формула справедлива только для двигателя и инвертора с одинаковой номинальной мощностью, а также для стандартных двигателей TOSHIBA FBK (поскольку в большой степени зависит от характеристик двигателя).

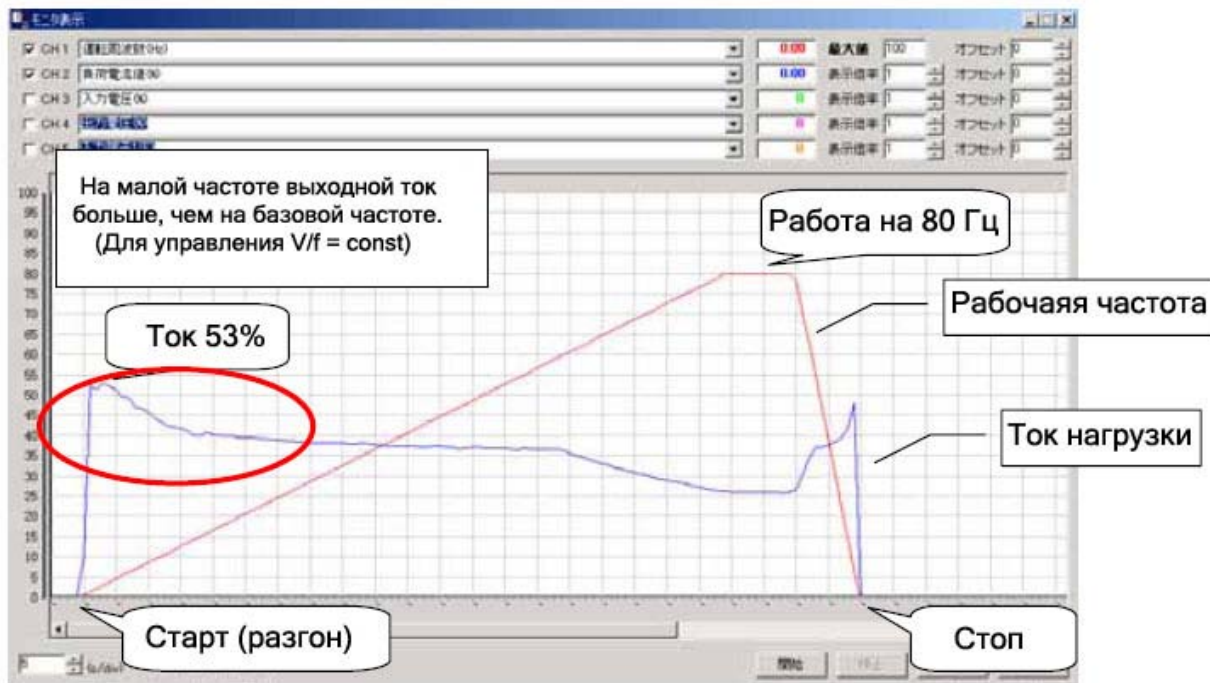
**Пример: Данные по работе инвертора VFS9-2004PM и двигателя IK-FBK8-0.4 kW-4P**

Установки параметров :

- Время разгона: 100 сек (Увеличено, чтобы исключить бросок тока при старте)
- Верхняя граница частоты: 80 Гц
- Метод управления:  $V/f = \text{const}$

Условия работы двигателя:

- Без нагрузки на валу
- При прохладной окружающей среде

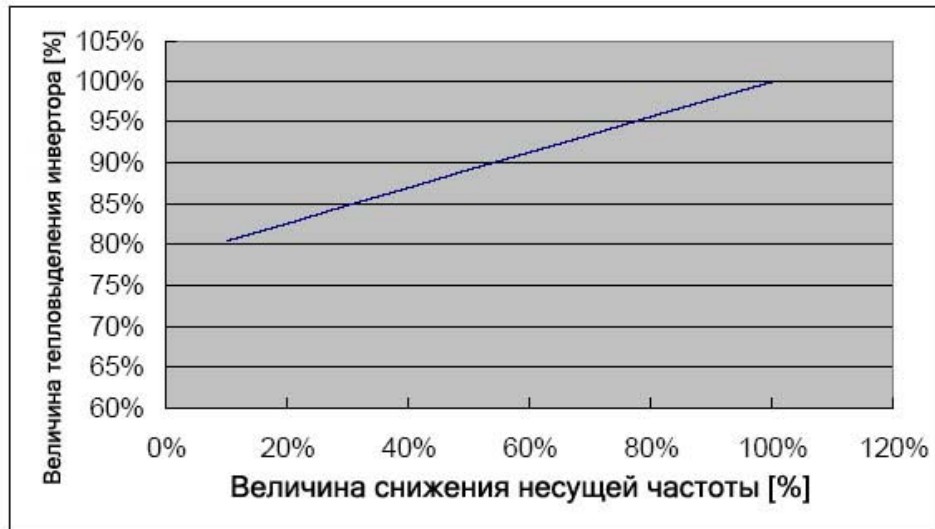


Данные получены с помощью функции монитора программы РСМ001Z - 0

## 2.4 Зависимость тепловыделения от значения несущей частоты.

Основную часть в тепловыделении инвертора составляют потери в силовых цепях IGBT. Поэтому, снижение частоты несущей ШИМ, позволяет значительно снизить величину тепловыделения.

Рисунок 3: График зависимости величины тепловыделения от значения несущей частоты.



Несущая частота 100 = значению, установленному по умолчанию.

### 3. Точный расчет величины тепловыделения инвертора

#### 3.1 Расчет величины тепловыделения в зависимости от режима работы инвертора

Величина тепловыделения в зависимости от режима работы инвертора (выходного тока инвертора) может быть вычислена по следующей формуле:

Величина тепловыделения при коэффициенте загрузки инвертора  $\chi$  %

(Значение тепловыделения при 100% нагрузке –  $\alpha$ )  $\times \chi + \alpha$

=

Значение тепловыделения при 100% нагрузке

Значение величины тепловыделения при коэффициенте загрузки инвертора  $\chi$  %

= (Значение тепловыделения при 100% нагрузке –  $\alpha$ )  $\times \chi +$

где  $\alpha$  – Общие потери в управляющих цепях инвертора.

Таблица 1: Значения  $\alpha$  для каждой модели инвертора.

Модель	Номинальная мощность	Значение $\alpha$ [Вт]
VFA7	200V/400V-0.75kW и менее	17
	200V/400V-1.5~3.7kW	22
	200V/400V-5.5, 7.5kW	26
	200V-11~22kW, 400V-18.5, 22kW	34
	400V-11, 15kW	29
	200V/400V-30kW	70
	200V-37~55kW, 400V-37~75kW	90
	200V-75kW, 400V-110, 132kW	125
	200V-90kW, 400V-160kW и более	200
VFP7	200V/400V-18.5, 22kW	34
	200V-30kW, 400V-30, 37kW	70
	200V-37~55kW, 400V-45~90kW	90
	200V-75kW, 400V-110, 132, 160kW	125
	200V-90, 110kW, 400V-200kW и более	200
VFnc1	0.75kW и менее	10
	1.5kW и более	30
VFS9	0.1~0.75kW	10
	1.5~3.7kW	30
	5.5kW и более	50
VFS11	200V-0.75kW и менее 1фаза 200V-0.75kW и менее	4
	200V-1.5, 2.2kW 1фаза 200V-1.5kW	10
	200V-3.7kW 1фаза 200V-2.2kW	13
	200V-5.5, 7.5kW	17
	200V-11, 15kW	32
	400V-0.4~1.5kW	12
	400V-2.2, 3.7kW	15
	400V-5.5, 7.5kW	21
	400V-11, 15kW	38



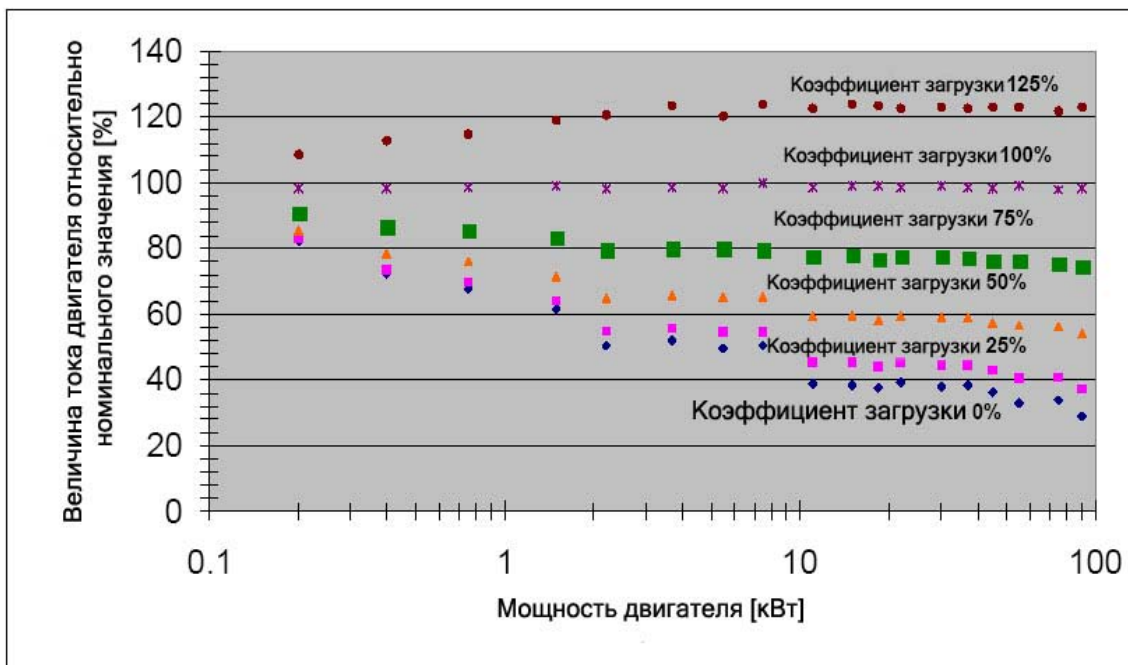
### 3.2 Расчет величины тепловыделения в зависимости от режима работы двигателя

Величина тепловыделения в зависимости от режима работы двигателя может быть вычислена по следующей формуле:

$$\text{Величина тепловыделения при коэффициенте загрузки двигателя } \chi \% = \frac{\text{Значение тепловыделения при 100\% нагрузке} - \alpha \times \left[ \frac{\text{Ток двигателя при загрузке } \chi \%}{\text{Номинальный ток инвертора}} \right]}{\text{Значение тепловыделения при 100\% нагрузке}}$$

\* Зависимость величины тока двигателя от коэффициента загрузки определится характеристиками двигателя (напряжение, частота, число полюсов). Поэтому, для более точных расчетов, проконсультируйтесь с изготовителем двигателя.

Рисунок 4: График зависимости тока двигателя от его коэффициента загрузки. Пример для серии двигателей FBK, выпускаемых Toshiba Industrial Products Manufacturing Corporation.



### 3.3 Расчет величины тепловыделения в зависимости от несущей частоты

Потери в силовых цепях IGBT состоят из «коллекторных потерь» и «потерь на переключение», как показано на следующих ниже рисунках.

Поэтому, снижение несущей частоты ШИМ, позволяет снизить потери на переключение и, тем самым, уменьшить тепловыделение инвертора.

Рисунок 5: Составляющие потерь в IGBT



Приблизительно  
1/2 общих потерь  
на IGBT

Рисунок 6 Составляющие общих потерь в инверторе



Соотношение потерь на  
IGBT для несущей частоты  
12кГц.  
(Пример для VFS9-2037)

При уменьшении несущей частоты ШИМ, потери в IGBT могут быть рассчитаны по формуле:

$$\text{Потери в IGBT} = \text{Потери на переключение} \times \frac{\text{Измененное значение несущей частоты}}{\text{Заводское значение несущей частоты}} + \text{Коллекторные потери}$$

Потери в IGBT можно снизить приблизительно наполовину, при этом тепловыделение на сниженной несущей частоте может быть рассчитано по формуле:

Величина тепловыделения на сниженное несущей частоте =

$$\text{Величина тепловыделения при 100\% нагрузке} - (\text{Величина тепловыделения при 100\% нагрузке} - a) \times a \times b \times \left[ 1 - \frac{\beta}{\gamma} \right]$$

$a$  - Потери в цепях управления

$\beta$  - Измененное значение несущей частоты

$\gamma$  - Заводское значение несущей частоты

$a$  - Отношение величин потерь в IGBT к потерям в силовых цепях

200 В класс: 50% (При встроенном фильтре ЕМС: 40%)

400 В класс: 70% (При встроенном фильтре ЕМС: 60%)

$b$  - Отношение величин потерь на переключение в IGBT к общим потерям в IGBT

200 В класс: 50%

400 В класс: 60%

Величина потерь в силовых цепях: «Потери в IGBT» и «Потери в IGBT на переключение», зависит от серии инвертора, его номинальной мощности и класса по напряжению питания.

### 3.4 Пример расчета величины тепловыделения

1. Снижение коэффициента загрузки инвертора ... См. раздел 3.1  
 Модель: VFA7-2037PL (200 В-3.7 кВт, встроенный EMC фильтр)  
 Коэффициент загрузки инвертора: 80%  
 Рабочая частота: 60 Гц  
 Величина тепловыделения инвертора: 220 W  
 Значение  $\alpha$  (общие потери в цепях управления): 17 Вт ... См. табл. 1.  
 Величина тепловыделения инвертора при сниженной нагрузке =  $(220\text{Вт}-17\text{Вт}) \times 80\% + 17\text{Вт} = \mathbf{179.4 \text{ [Вт]}}$
2. Снижение коэффициента загрузки двигателя ... См. раздел 3.2.  
 Модель: VFA7-2037PL (200 В-3.7 кВт, встроенный EMC фильтр)  
 Номинальный ток инвертора: 16.6 А  
 Номинальный ток двигателя: 15 А  
 Коэффициент загрузки двигателя: 50% (Ток двигателя: 65% =  $15 \times 0.65 = 9.75 \text{ А}$ ) ... См. рис 4..  
 Рабочая частота: 60 Hz  
 Величина тепловыделения инвертора: 220 W  
 Значение  $\alpha$  (общие потери в цепях управления): 17 W ... См. табл. 1.  
 Величина тепловыделения инвертора при заданной нагрузке двигателя =  $(220\text{Вт}-17 \text{ Вт}) - 9.75\text{А}/16.6\text{А}+17 \text{ Вт} = \mathbf{136.2 \text{ [Вт]}}$
3. Снижение несущей частоты ... См. раздел 3.3.  
 Модель: VFA7-2037PL (200 В-3.7 кВт, встроенный EMC фильтр)  
 Коэффициент загрузки инвертора: 80%  
 Рабочая частота: 60 Hz  
 Величина тепловыделения инвертора: 220 W  
 Значение  $\alpha$  (общие потери в цепях управления): 17 W ... См. табл. 1.  
 Установка несущей частоты: 2.2 кГц (установки по умолчанию: 12 kHz)  
 Величина тепловыделения инвертора при сниженной нагрузке =  $(220\text{Вт}-17\text{Вт}) \times 80\% + 17\text{Вт} = 179.4 \text{ [Вт]}$   
 Величина тепловыделения инвертора на заданной несущей частоте =  $179.4 \text{ Вт} - (179.4 \text{ Вт} - 17 \text{ Вт}) \times 50\% \times 60\% \times (1 - 2.2\text{кГц}/12\text{кГц}) = \mathbf{152.9 \text{ [Вт]}}$
4. Компенсация тепловыделения на рабочей частоте ... См. раздел 2.3.  
 Модель: VFA7-2037PL (200 В-3.7 кВт, встроенный EMC фильтр)  
 Величина тепловыделения инвертора: 220 W  
 Рабочая частота: 6 Гц ... Коэффициент компенсации: 1.4  
 Величина тепловыделения инвертора: 220 W  
 Значение  $\alpha$  (общие потери в цепях управления): 17 W ... См. табл. 1.  
 Установка несущей частоты: 2.2 кГц (установки по умолчанию: 12 kHz)  
 Величина тепловыделения инвертора при сниженной нагрузке =  $(220\text{Вт}-17\text{Вт}) \times 80\% + 17\text{Вт} = 179.4 \text{ [Вт]}$   
 Величина тепловыделения инвертора на заданной несущей частоте =  $179.4 \text{ Вт} - (179.4 \text{ Вт} - 17 \text{ Вт}) \times 50\% \times 60\% \times (1 - 2.2\text{кГц}/12\text{кГц}) = 152.9 \text{ [Вт]}$   
 Компенсация тепловыделения на рабочей частоте =  $152.9 \times 1.4 = \mathbf{214.1 \text{ [Вт]}}$

## **4. Конструкция шкафа при установке инвертора в шкаф**

### **4.1 Расчет вентиляции для шкафа с принудительным вентилярованием**

Требуемая величина потока воздуха рассчитывается по формуле, приведенной ниже. Необходимо предусмотреть установку охлаждающего вентилятора, обеспечивающего производительность, полученную из расчета или большую.

Примеры необходимых значений вентиляции приведены в приложении 1.

$$Q = \frac{P \times 60}{1.057 \times \Delta T} = 5.7 \times P \text{ [м}^3\text{/мин]}$$

Где Q – Требуемая поток воздуха

P - Общее тепловыделение инвертора [кВт]

$\Delta T$  – Величина допустимого подъема температуры внутри шкафа (в вышеприведенной формуле принята равной 10<sup>0</sup>С)

### **4.2 Требуемая площадь теплового рассеивания при установке в закрытый шкаф**

Поскольку в данном случае получается более закрытое исполнение, его можно применять для ухудшенных условий окружающей среды. Однако, следует учитывать, что из-за худшего теплового рассеивания, необходимо увеличивать размеры шкафа для установки инвертора. Выделяемое инвертором тепло рассеивается с поверхности шкафа за счет естественной конвекции воздуха. Поэтому, требуемая площадь теплового рассеивания шкафа должна быть рассчитана по формуле, приведенной ниже.

Примеры необходимых значений площадей теплового рассеивания приведены в приложении 1.

$$S = \frac{P \times 1000}{5 \times \Delta T} = 20 \times P \text{ [м}^2\text{]}$$

Где S – Требуемая площадь теплового рассеивания

P - Общее тепловыделение инвертора [кВт]

$\Delta T$  – Величина допустимого подъема температуры внутри шкафа (в вышеприведенной формуле принята равной 10<sup>0</sup>С)

### Приложение 1: Таблица значений теплового выделения инверторов.

#### TOSVERT – VFA7

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFA7-2004PL	200	0.4	50	0.29	1	12.0
VFA7-2007PL	200	0.75	70	0.4	1.4	12.0
VFA7-2015PL	200	1.5	110	0.63	2.2	12.0
VFA7-2022PL	200	2.2	140	0.8	2.8	12.0
VFA7-2037PL	200	3.7	220	1.3	4.4	12.0
VFA7-2055PL	200	5.5	310	1.8	6.2	12.0
VFA7-2075PL	200	7.5	420	2.4	8.4	12.0
VFA7-2110P	200	11	580	3.3	11.6	12.0
VFA7-2150P	200	15	770	4.4	15.4	12.0
VFA7-2185P	200	18.5	940	5.4	18.8	12.0
VFA7-2220P	200	22	1100	6.3	22.2	12.0
VFA7-2300P	200	30	1490	8.5	29.8	12.0
VFA7-2370P1	200	37	1530	8.7	30.6	8.0
VFA7-2450P1	200	45	1850	10.5	37	8.0
VFA7-2550P1	200	55	2250	12.8	45	2.2
VFA7-2750P1	200	75	3050	17.4	61	2.2
VFA7-2900P1	200	90	3650	20.8	73	2.2
VFA7-2370P	200	37	1900	10.8	38	8.0
VFA7-2450P	200	45	2300	13.1	46	8.0
VFA7-2550P	200	55	2800	16	56	8.0
VFA7-2750P	200	75	3050	17.4	76	2.2
VFA7-2900P	200	90	3650	20.6	72	2.2
VFA7-4007PL	400	0.75	70	0.4	1.4	12.0
VFA7-4015PL	400	1.5	110	0.63	2.2	12.0
VFA7-4022PL	400	2.2	140	0.8	2.8	12.0
VFA7-4037PL	400	3.7	220	1.3	4.4	12.0
VFA7-4055PL	400	5.5	280	1.6	5.6	12.0
VFA7-4075PL	400	7.5	370	2.1	7.4	12.0
VFA7-4110PL	400	11	530	3.0	10.6	12.0
VFA7-4150PL	400	15	710	4.0	14.2	12.0
VFA7-4185P	400	18.5	800	4.6	16.0	12.0
VFA7-4220P	400	22	940	5.4	18.8	12.0
VFA7-4300P	400	30	1270	7.2	25.4	12.0
VFA7-4370P1	400	37	1270	7.2	25.4	8.0
VFA7-4450P1	400	45	1490	8.5	29.8	8.0
VFA7-4550P1	400	55	1810	10.3	36.2	8.0
VFA7-4750P1	400	75	2300	13.1	46	2.2
VFA7-4110KP1	400	110(90)	3350(2750)	19.1(15.7)	67(55)	2.2
VFA7-4132KP1	400	132	4010	22.9	80.2	2.2
VFA7-4160KP1	400	160	4850	27.6	97	2.2
VFA7-4220KP1	400	220	6650	37.9	133	2.2
VFA7-4280KP1	400	280	8450	48.2	169	2.2
VFA7-4370P	400	37	1900	10.8	38	8.0
VFA7-4450P	400	45	2300	13.1	46	8.0
VFA7-4550P	400	55	2800	16	56	8.0
VFA7-4750P	400	75	3800	21.7	76	8.0
VFA7-4110KP	400	110	4450	25.1	88	2.2
VFA7-4132KP	400	132	5330	30.1	105.6	2.2
VFA7-4160KP	400	160	6450	36.5	128	2.2
VFA7-4220KP	400	220	8850	50.2	176	2.2
VFA7-4280KP	400	280	11250	63.8	224	2.2

**TOSVERT – VFP7**

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFP7-2185P	200	18.5	940	5.4	18.8	12.0
VFP7-2220P	200	22	1110	6.3	22.2	12.0
VFP7-2300P	200	30	1490	8.5	29.8	12.0
VFP7-2370P	200	37	1530	8.7	30.6	8.0
VFP7-2450P	200	45	1850	10.5	37	8.0
VFP7-2550P	200	55	2250	12.8	45	2.2
VFP7-2750P	200	75	3050	17.4	61	2.2
VFP7-2900P	200	90	3650	20.8	73	2.2
VFP7-2110KP	200	110	4450	25.4	89	2.2
VFP7-4185P	400	18.5	800	4.6	16	12.0
VFP7-4220P	400	22	940	5.4	18.8	12.0
VFP7-4300P	400	30	1270	7.2	25.4	12.0
VFP7-4370P	400	37	1570	8.9	31.4	8.0
VFP7-4450P	400	45	1570	8.9	31.4	8.0
VFP7-4550P	400	55	1810	10.3	36.2	8.0
VFP7-4750P	400	75	2300	13.1	46	2.2
VFP7-4900P	400	90	2750	15.7	55	2.2
VFP7-4110KP	400	110	3350	19.1	67	2.2
VFP7-4132KP	400	132	4010	22.9	80.2	2.2
VFP7-4160KP	400	160	4850	27.6	97	2.2
VFP7-4200KP	400	200	6050	34.5	121	2.2
VFP7-4220KP	400	220	6650	37.9	133	2.2
VFP7-4280KP	400	280	8450	48.2	169	2.2
VFP7-4315KP	400	315	9500	54.2	190	2.2

**TOSVERT – VFS11**

Тип инвертора	Класс входного напряжения	Номин. мощность	Величина теплового выделения	Величина теплового выделения	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции	Требуемая площадь теплового рассеивания	Настройки по умолчанию несущей частоты
			$f_H=4$ кГц	$f_H=12$ кГц			
	[В]	[кВт]	[Вт]	[Вт]	[м <sup>3</sup> /мин]	[м <sup>2</sup> ]	[кГц]
VFS11-2002PM	200	0.2	21	26	0.15	0.52	12
VFS11-2004PM	200	0.4	36	44	0.25	0.88	12
VFS11-2005PM	200	0.55	50	54	0.31	1.1	12
VFS11-2007PM	200	0.75	51	58	0.33	1.16	12
VFS11-2015PM	200	1.5	88	101	0.58	2.02	12
VFS11-2022PM	200	2.2	115	125	0.71	2.5	12
VFS11-2037PM	200	3.7	171	188	1.07	3.75	12
VFS11-2055PM	200	5.5	266	281	1.6	5.62	12
VFS11-2075PM	200	7.5	349	392	2.23	7.84	12
VFS11-2110PM	200	11	489	549	3.13	11	12
VFS11-2150PM	200	15	634	704	4.01	14.1	12
VFS11-4004PL	400	0.4	43	60	0.34	1.2	12
VFS11-4007PL	400	0.75	51	68	0.39	1.36	12
VFS11-4015PL	400	1.5	71	95	0.54	1.9	12
VFS11-4022PL	400	2.2	88	118	0.67	2.36	12
VFS11-4037PL	400	3.7	138	161	0.92	3.22	12
VFS11-4055PL	400	5.5	205	230	1.31	4.6	12
VFS11-4075PL	400	7.5	247	324	1.85	6.48	12
VFS11-4110PL	400	11	414	551	3.14	11	12
VFS11-4150PL	400	15	501	659	3.76	13.2	12
VFS11S-2002PL	200	0.2	21	26	0.15	0.52	12
VFS11S-2004PL	200	0.4	36	44	0.25	0.88	12
VFS11S-2007PL	200	0.75	52	59	0.34	1.18	12
VFS11S-2015PL	200	1.5	87	99	0.56	1.98	12
VFS11S-2022PL	200	2.2	116	125	0.71	2.5	12

**TOSVERT – VFS9**

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения $f_{н}=4$ кГц [Вт]	Величина теплового выделения $f_{н}=12$ кГц [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFS9-2002PM	200	0.2	21	26	0.15	0.52	12
VFS9-2004PM	200	0.4	43	54	0.31	1.1	
VFS9-2007PM	200	0.75	67	79	0.45	1.6	
VFS9-2015PM	200	1.5	131	150	0.86	3	
VFS9-2022PM	200	2.2	168	195	1.1	3.9	
VFS9-2037PM	200	3.7	330	374	2.1	7.5	
VFS9-2055PL	200	5.5	450	510	2.9	10.2	
VFS9-2075PL	200	7.5	576	635	3.6	12.7	
VFS9-2110PM	200	11	750	820	4.7	16.4	
VFS9-2150PM	200	15	942	1035	5.9	20.7	
VFS9-4007PL	400	0.75	44	57	0.32	1.1	
VFS9-4015PL	400	1.5	77	99	0.56	2	
VFS9-4022PL	400	2.2	103	134	0.76	2.7	
VFS9-4037PL	400	3.7	189	240	1.4	4.8	
VFS9-4055PL	400	5.5	264	354	2	7.1	
VFS9-4075PL	400	7.5	358	477	2.7	9.5	
VFS9-4110PL	400	11	490	650	3.7	13	
VFS9-4150PL	400	15	602	808	4.6	16.2	
VFS9S-2002PL	200	0.2	23	29	0.17	0.58	
VFS9S-2004PL	200	0.4	47	60	0.34	1.2	
VFS9S-2007PL	200	0.75	74	88	0.5	1.8	
VFS9S-2015PL	200	1.5	142	169	0.96	3.4	
VFS9S-2022PL	200	2.2	239	270	1.5	5.4	



**TOSVERT – VFS7**

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFS7S-2002P	200	0.2	40	0.23	0.8	12
VFS7S-2004P	200	0.4	50	0.29	1	
VFS7S-2007P	200	0.75	70	0.4	1.4	
VFS7S-2015P	200	1.5	105	0.6	2.1	
VFS7S-2022P	200	2.2	140	0.8	2.8	
VFS7-2002P	200	0.2	40	0.23	0.8	
VFS7-2004P	200	0.4	50	0.29	1	
VFS7-2007P	200	0.75	70	0.4	1.4	
VFS7-2015P	200	1.5	105	0.6	2.1	
VFS7-2022P	200	2.2	140	0.8	2.8	
VFS7-2037P	200	3.7	215	1.2	4.3	
VFS7-2055P	200	5.5	305	1.7	6.1	
VFS7-2075P	200	7.5	405	2.3	8.1	
VFS7-2110P	200	11	600	3.4	12	
VFS7-2150P	200	15	800	4.6	16	
VFS7-4007P	400	0.75	70	0.4	1.4	
VFS7-4015P	400	1.5	105	0.6	2.1	
VFS7-4022P	400	2.2	140	0.8	2.8	
VFS7-4037P	400	3.7	215	1.2	4.3	
VFS7-4055P	400	5.5	305	1.7	6.1	
VFS7-4075P	400	7.5	405	2.3	8.1	
VFS7-4110P	400	11	600	3.4	12	
VFS7-4150P	400	15	800	4.6	16	

**TOSVERT – VFnc1**

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFNC1S-1001P	100	0.1	12	0.07	0.24	12
VFNC1S-1002P	100	0.2	21	0.12	0.42	
VFNC1S-1004P	100	0.4	30	0.17	0.6	
VFNC1S-1007P	100	0.75	55	0.31	1.1	
VFNC1S-2002P	200	0.2	21	0.12	0.42	
VFNC1S-2004P	200	0.4	30	0.17	0.6	
VFNC1S-2007P	200	0.75	55	0.31	1.1	
VFNC1S-2015P	200	1.5	96	0.55	1.9	
VFNC1S-2022P	200	2.2	126	0.72	2.5	
VFNC1-2001P	200	0.1	12	0.07	0.24	
VFNC1-2002P	200	0.2	21	0.12	0.42	
VFNC1-2004P	200	0.4	30	0.17	0.6	
VFNC1-2007P	200	0.75	55	0.31	1.1	
VFNC1-2015P	200	1.5	96	0.55	1.9	
VFNC1-2022P	200	2.2	126	0.72	2.5	

**TOSVERT – VFS7e**

Тип инвертора	Класс входного напряжения [В]	Номин. мощность [кВт]	Величина теплового выделения [Вт]	Требуемый поток воздуха для принудительной вентиляции [м <sup>3</sup> /мин]	Требуемая площадь теплового рассеивания [м <sup>2</sup> ]	Настройки по умолчанию несущей частоты [кГц]
VFS7E-2001P	200	0.1	40	0.23	0.8	12
VFS7E-2002P	200	0.2	40	0.23	0.8	
VFS7E-2004P	200	0.4	50	0.29	1	
VFS7E-2007P	200	0.75	70	0.4	1.4	
VFS7ES-1001P	100	0.1	40	0.23	0.8	
VFS7ES-1002P	100	0.2	40	0.23	0.8	
VFS7ES-1004P	100	0.4	50	0.29	1	
VFS7ES-2001P	200	0.1	40	0.23	0.8	
VFS7ES-2002P	200	0.2	40	0.23	0.8	
VFS7ES-2004P	200	0.4	50	0.29	1	

## Приложение 2: Расчет величины тепловыделения тормозного резистора.

Тепловыделение тормозного резистора зависит от реальных условий его использования.  
Среднее значение генерируемой электрической энергии рассчитывается по формуле:

$T_b$  : Момент торможения (Н·м)

$T_L$  : Момент нагрузки (Н·м)

$\eta$  : К.п.д. механизма

$N_1$  : Скорость до торможения (мин<sup>-1</sup>)

$N_2$  : Скорость после торможения (мин<sup>-1</sup>)

Требуемый тормозной момент:  $T_B = T_b - \eta \times T_L$  (Н·м)

Генерируемая электрическая энергия:  $P_B = \frac{T_B \times (N_1 + N_2)}{9555} \times \frac{1}{2}$  (кВт)

Среднее по времени значение генерируемой электрической энергии:

$$\bar{P}_B = P_B \times \% ПВ \text{ (кВт)}$$

$$(\% ПВ = \frac{tb}{ts})$$

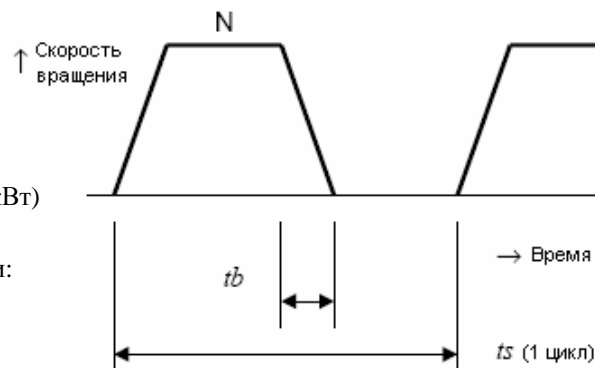


Рис. Рабочий цикл

$T_b$  : Момент торможения (кГс·м)

$T_L$  : Момент нагрузки (кГс·м)

$\eta$  : К.п.д. механизма

$N_1$  : Скорость до торможения (о/мин)

$N_2$  : Скорость после торможения (о/мин)

Требуемый тормозной момент:  $T_B = T_b - \eta \times T_L$  (кГс·м)

Генерируемая электрическая энергия:  $P_B = \frac{T_B \times (N_1 + N_2)}{975} \times \frac{1}{2}$  (кВт)

Среднее по времени значение генерируемой электрической энергии:

$$\bar{P}_B = P_B \times \% ПВ \text{ (кВт)}$$

$$(\% ПВ = \frac{tb}{ts})$$

Для метрической системы измерения