

Инструкция по применению инвертора

Меры по борьбе с шумами инвертора.

Toshiba Schneider Inverter Corporation

Москва 2004

Содержание

1.	Описание помех	2
1.1.	Электромагнитная совместимость (ЭМС)	2
1.2.	Шумы, исходящие от инвертора	3
1.3.	Типы и пути распространения помех	3
1.3.1.	Кондуктивный шум (распространяемый по проводам)	3
1.3.2.	Индукцированный шум (наведенный)	3
1.3.3.	Излучаемый шум	4
1.4.	Стандарты, нормы и правила для инверторов	4
2.	Меры по подавлению шумов	5
2.1.	Основы подавления шумов	5
2.2.	Подробно о подавлении шумов	8
2.2.1.	Проводка	8
2.2.2.	Заземление	11
2.2.3.	Шкаф управления	12
2.2.4.	Несущая частота ШИМ инвертора	13
2.3.	Устройства подавления шумов	15
2.3.1.	Фильтры помех	15
2.3.2.	Трансформаторы силового напряжения	18
2.3.3.	Экранированные кабели	19
2.4.	Меры по защите элементов, чувствительных к помехам	19
2.5.	Влияние инвертора на другое оборудование и меры противодействия	20
2.5.1.	Влияние на АМ радиовещание	20
2.5.2.	Влияние на телефонию	21
2.5.3.	Влияние на бесконтактные переключатели	21
2.5.4.	Влияние на датчики давления	22
2.5.5.	Влияние на датчики позиционирования (импульсные энкодеры)	23
3.	Эффективность мер по подавлению шумов (Пример оценки)	24
3.1.	Пример действия фильтра помех	24
3.1.1.	Эффективность встроенного фильтра (для серии VF-A7)	24
3.1.2.	Эффективность встроенного фильтра (для серии VF-S9)	26
3.1.3.	Эффективность индуктивного фильтра	30
3.2.	Эффект снижения несущей частоты ШИМ	31
3.3.	Эффект экранирования выходного кабеля	32

1. Описание помех

1.1. Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Проблема электромагнитных помех одна из важнейших в современном информационном обществе, а электромагнитная совместимость (ЭМС) в настоящее время стандартизована Международной электротехнической комиссией (МЭК). ЭМС – это способность оборудования удовлетворительно функционировать в электромагнитной среде в отсутствие влияния излучаемых электромагнитных волн на работу другого оборудования.

Типы ЭМС можно разделить следующим образом:

ЭМС (электромагнитная совместимость ЭМС)	
EMS (Электромагнитная чувствительность ЭМЧ)	EMI (Электромагнитное излучение ЭМИ)
<ul style="list-style-type: none"> • Электростатический разряд • Излучение радиочастотного электромагнитного поля • Быстрые переходные процессы • Броски тока • Радиочастотные наведенные/распространяемые по проводам помехи • Другие 	<ul style="list-style-type: none"> • Шум, распространяемый по проводам • Излучаемый шум

Рис. 1-1. Типы ЭМС

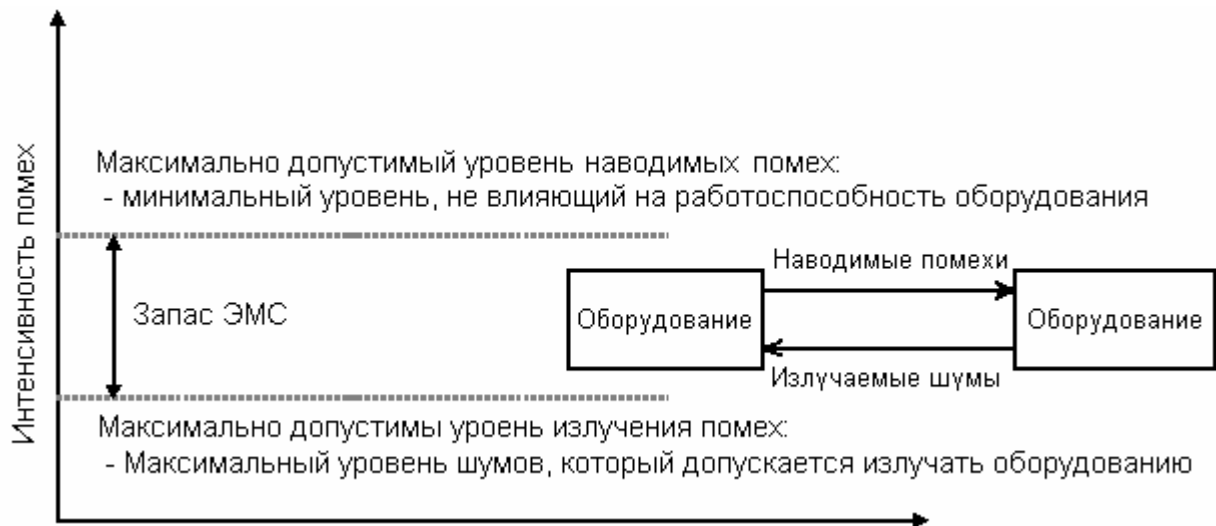


Рис. 1-2. Концепция ЭМС (Уровни электромагнитных помех).

Так как силовое электронное оборудование содержит полупроводниковые коммутирующие устройства, применение такого оборудования может быть причиной электромагнитных помех. Помехи в данном случае – это электрические помехи, которые влияют на нормальную работу электронного оборудования и вызывают проблемы и относятся в основном к электромагнитным помехам, указанным выше.

1.2. Шумы, исходящие от инвертора

Инвертор осуществляет управление скоростью двигателя путем выпрямления входного переменного напряжения в постоянное и последующего преобразования постоянного напряжения в трехфазное напряжение изменяемой частоты с помощью широтно-импульсного управления инвертором из шести транзисторов. Переключение транзисторов с высокой скоростью для осуществления ШИМ регулирования вызывает шумы переключения. В момент переключения возникает ток помехи (I), стекающий на «землю» через инвертор, силовой кабель и паразитную емкость двигателя (C). Этот ток связан с паразитной емкостью (C) и скоростью переключения транзистора ($\frac{dV}{dt}$) имеет следующее значение:

$$I = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

Так как данный ток возникает при каждом переключении, то он также связан с несущей частотой ШИМ инвертора и возрастает с ее увеличением.

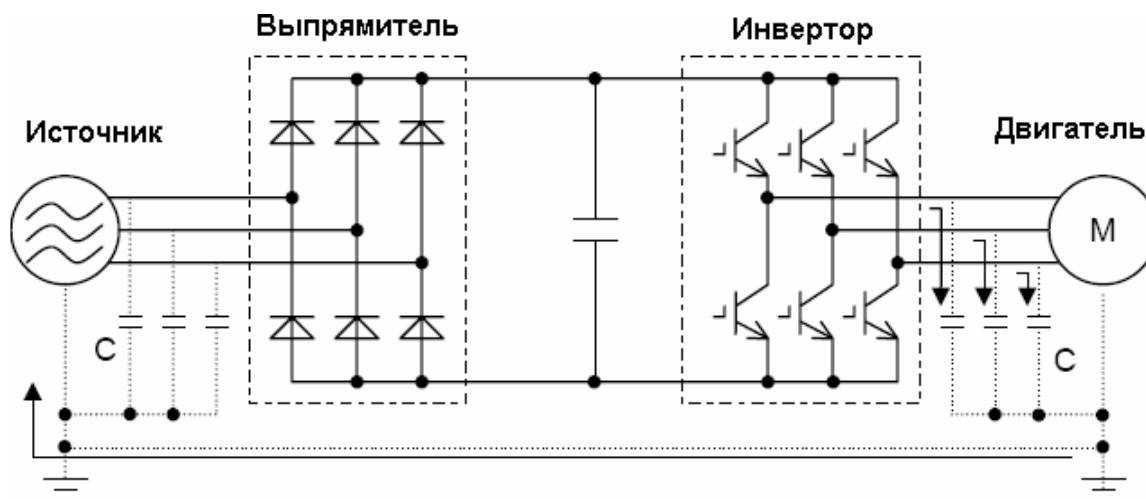


Рис. 1-3. Схема инвертора

К тому же дополнительные шумы производит транзисторный преобразователь постоянного напряжения в блоке питания системы управления. Частотный диапазон шумов достигает 30-40 МГц, поэтому эти шумы вносят помехи систем АМ радиовещания и другого низкочастотного оборудования. Степень влияния сильно зависит от помехоустойчивости различного оборудования, состояния проводки и расстояния до инвертора. Помехи, в зависимости от способа их распространения, можно разделить на распространяемые по проводам (кондуктивные), наведенные (индуцированные) и излучаемые. В соответствии с типом помех должны приниматься соответствующие меры.

Кроме того, при большой длине силового кабеля токи утечки будут также протекать через паразитную емкость кабеля. См. детали в инструкции «Токи утечки».

1.3. Типы и пути распространения помех

После возникновения в инверторе помехи распространяются по силовым кабелям к источнику питания и двигателю. Как видно на рисунке, путей распространения достаточно много, однако, в общих чертах можно выделить три способа: кондуктивный, индукционный и излучением.

1.3.1. Кондуктивный шум (распространяемый по проводам)

Распространяется по проводам и воздействует на периферийное оборудование (например, через источник питания по силовой цепи). На рисунке этот путь распространения обозначен (1). Если кабель заземления подключается к общей линии, то помехи распространяются по пути (2). Иначе помехи могут распространяться по экрану или сигнальному проводу датчика (3).

1.3.2. Индуцированный шум (наведенный)

Если сигнальные или иные проводники периферийного оборудования пролегают рядом с силовыми кабелями на входе и выходе инвертора, в которых протекают токи шумов, в этих проводниках могут быть наведены помехи. Путь их распространения показан на рисунке и обозначен (4).

1.3.3. Излучаемый шум

Шум, возникающий в инверторе и излучаемый в окружающую среду вдоль входных/выходных кабелей также вносит помехи в работу периферийного оборудования. Это так называемый излучаемый шум, а пути его распространения показаны на рисунке (5). Кроме того, он может также распространяться через корпус двигателя и инвертора.

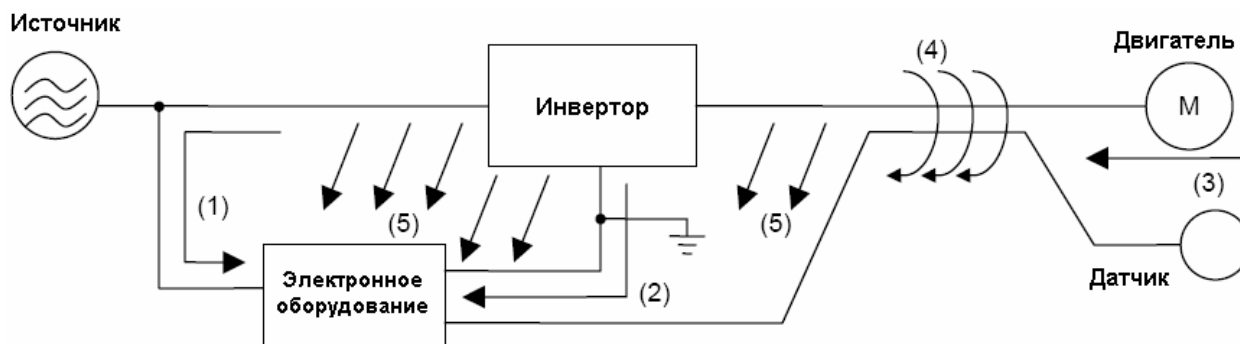


Рис. 1-4. Пути распространения помех.

1.4. Стандарты, нормы и правила для инверторов

Стандарты и правила ЭМС для таких приводных систем как инверторы перечислены в табл.1. Из всех перечисленных стандартов только C-Tick маркировка указывает, что инвертор не может быть продан в Австралии и Новой Зеландии без соответствующей маркировки, остальные же стандарты не являются обязательными. В будущем, однако, предполагается, что все стандарты станут обязательными, так как каждая страна будет ужесточать свои собственные стандарты под руководством Международной электротехнической комиссии, МЭК (IEC). Инверторы, хотя и не находятся под влиянием ЭМС директив по отношению к CE маркировке в Европейском союзе, все же регулируются стандартами директив по низковольтному оборудованию.

Табл.1-1. Стандарты и правила ЭМС для таких приводных систем

Страна	Номер стандарта	Тип стандарта	Примечание
Международный (Специальный международный комитет по радиопомехам)	CISPR pub.11(=EN55011)	Излучение	
ЕС (Евросоюз)	EN61800-3	Излучение Защита	CE маркировка EMC директивы
Австралия Новая Зеландия	AS/NZS2064 (=CISPR pub.11)	Излучение	EMC основы C-tick маркировка
США	FCC часть 18	Излучение	
Китай	GB4824 (=CISPR pub.11)	Излучение	
Япония	Законы о радиоволнах и об электрическом оборудовании	–	

Примечание. В данном перечне Евросоюз включает следующие страны: Австрия, Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция и Великобритания.

2. Меры по подавлению шумов

При усилении мер по подавлению шумов их эффективность возрастает. Однако, в том случае, если предпринимаются соответствующие меры, результат может быть достигнут простыми средствами. Поэтому необходимо предпринимать более экономичные меры в соответствии с уровнем помех или в зависимости от конкретной ситуации. Меры по подавлению шумов, описанные в данном руководстве, в основном применяются для снижения уровня их излучения инвертором. Данные меры, однако, также могут улучшить и помехозащищенность.

2.1. Основы подавления шумов

Важно принять во внимание помехи не только при монтаже инвертора в предназначенный для него щит управления, но и при разработке системы в целом. В современных инверторах применение быстродействующих коммутирующих элементов позволяет снизить уровень звуковых шумов (повышенные частоты несущей ШИМ), но в то же время увеличивает электрические шумы (помехи). Если же возникают проблемы, связанные с помехами, решение может потребовать значительных затрат как в оборудовании/материалах, так и по времени.

Меры по подавлению шумов могут быть разделены на два основных типа: меры связанные с конкретным путем распространения помех и меры связанные с периферийным оборудованием, на которое влияют данные помехи.

Примеры мер связанных с конкретным путем распространения помех:

- Раздельная прокладка силовых кабелей (входных и выходных) и других цепей (например, сигналов управления). *Эта мера эффективна против излучения и наводок.*
- Установка фильтра помех. *Эта мера эффективна для кондуктивных помех и излучения.*
- Электрическое заземление (экранирование) инвертора с применением экранированных кабелей для силовых цепей или прокладка кабеля в металлической трубе. *Эта мера эффективна для кондуктивных, наведенных помех и излучения.*
- Электрическое заземление (экранирование) инвертора помещением его в металлический шкаф. *Эта мера эффективна для наведенных помех и излучения.*
- Применение экранированных кабелей или кабеля типа «витая пара» для сигналов управления. *Эта мера эффективна для наведенных помех и излучения.*
- Осуществление правильного заземления. *Эта мера эффективна для наведенных помех.*
- Осуществление независимого заземления инвертора и другого оборудования. *Эта мера эффективна для наведенных помех.*
- Снижение несущей частоты ШИМ инвертора (при этом, однако, увеличивается акустический шум инвертора). *Эта мера эффективна для кондуктивных, наведенных помех и излучения.*

Примеры мер связанных с периферийным оборудованием:

- Использование источника питания, независимого от инверторов. *Эта мера эффективна для кондуктивных помех.*
- Использование изолирующего трансформатора. *Эта мера эффективна для кондуктивных помех.*
- Установка фильтра помех. *Эта мера эффективна для кондуктивных помех и излучения.*
- Разнесение оборудования на максимальное расстояние от инвертора. *Эта мера эффективна для наведенных помех и излучения.*

Табл. 2-1. Меры против помех и их эффективность

	Countermeasure	Тип помех					Наведенные
		Кондуктивные		Излучение			
		Вход инвертора	Заземление	Блок инвертора	Вход инвертора	Выход инвертора	
Инвертор	Снижение несущей частоты ШИМ инвертора	Э	Э	Э	Э	Э	Э
	Увеличение степени подавления аналогового фильтра на входе/выходе	-	-	-	-	-	МЭ
Установка и проводка	Правильное заземление	-	-	-	-	-	Э
	Установка инвертора в металлический шкаф	-	-	Э	-	-	МЭ
	Разделение систем питания	Э	Э	-	-	-	-
	Укорочение длины входных/выходных кабелей	-	-	-	Э	Э	Э
	Применение металлических труб или экранированного силового кабеля питания	МЭ	-	-	Э	-	-
	Применение металлических труб или экранированного выходного силового кабеля	-	-	-	-	Э	Э
Устройства для снижения помех	Использование изолирующего трансформатора для источника питания	Э	-	-	МЭ	-	-
	Фильтр высокого подавления на входе	Э	-	-	МЭ	-	-
	Емкостный фильтр на входе	Э	-	-	МЭ	-	-
	Индуктивный фильтр на входе	МЭ	МЭ	-	Э	-	-
	Подключение входного реактора	МЭ	-	-	МЭ	-	-
	Индуктивный фильтр на выходе	-	Э	-	-	Э	МЭ
	Подключение выходного реактора	-	Э	-	-	Э	МЭ
Управляемое оборудование	Применение для сигналов управления экранированного кабеля или кабеля типа «витая пара»	-	-	МЭ	МЭ	МЭ	Э
	Индуктивный фильтр для цепей управления	-	-	МЭ	МЭ	МЭ	МЭ
	Удаление оборудования на расстояние от инвертора и его силовых цепей	-	-	Э	Э	Э	Э
	Независимое от инвертора заземление	-	-	-	-	-	Э
	Отсутствие параллельной проводки и жгутов провода	-	-	МЭ	МЭ	МЭ	Э
	Использование экранирующей пластины	-	-	МЭ	МЭ	МЭ	МЭ

Э: эффективно

МЭ: малоэффективно

-: неэффективно

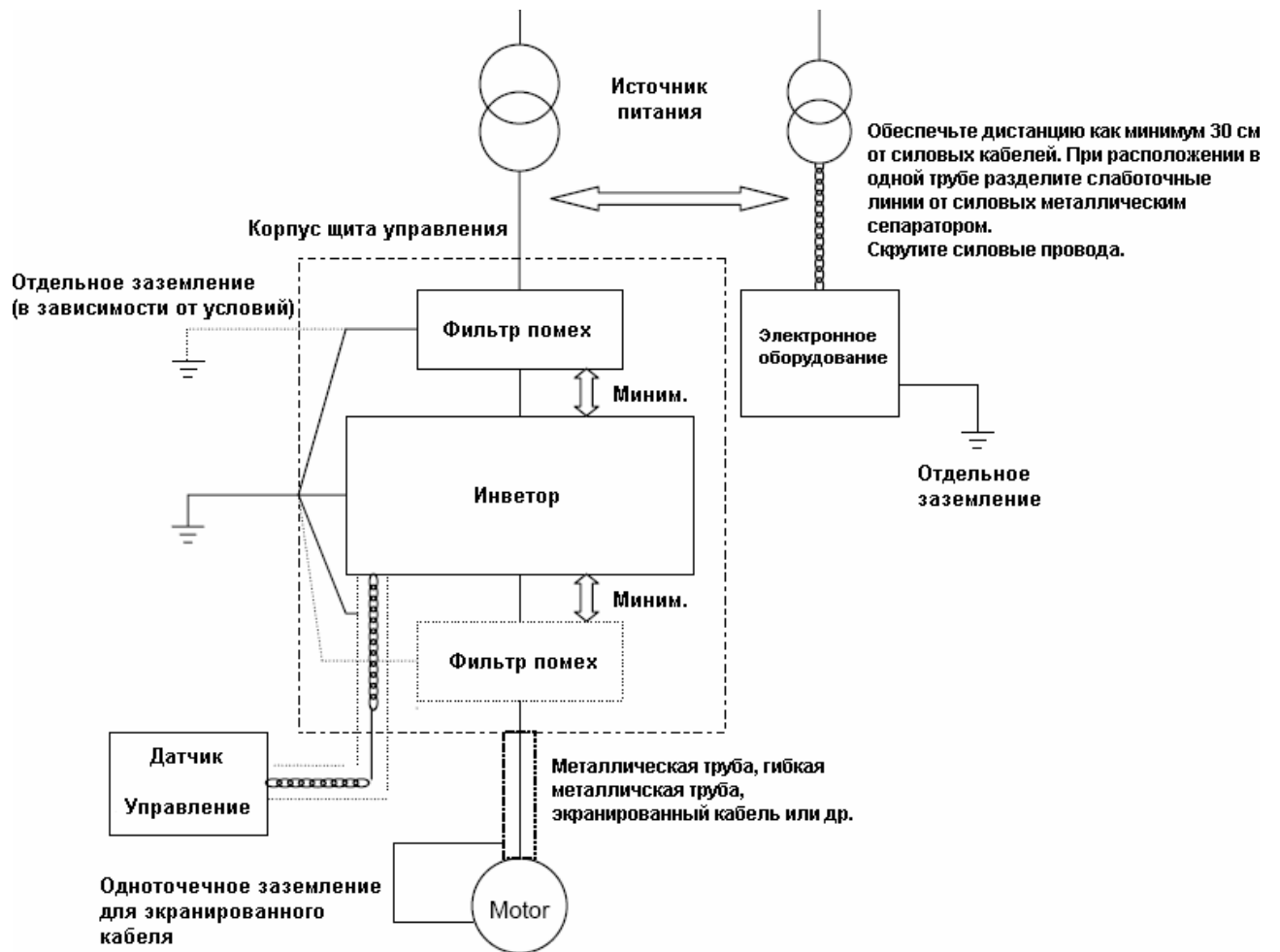


Рис. 2-1. Пример борьбы с помехами.

2.2. Подробно о подавлении шумов

2.2.1. Проводка

Силовые цепи и цепи управления действуют в качестве антенны и излучают помехи в окружающую среду. Поэтому при проводке необходимо принять соответствующие меры.

1. Разделите входные и выходные силовые цепи, используйте экранированные кабели или металлические трубы. Однако, при использовании экранированного кабеля или металлической трубы увеличивается длина кабеля, то при увеличившемся токе утечек возможна активация автомата защиты от утечек на «землю», подключенного в цепи питания инвертора.

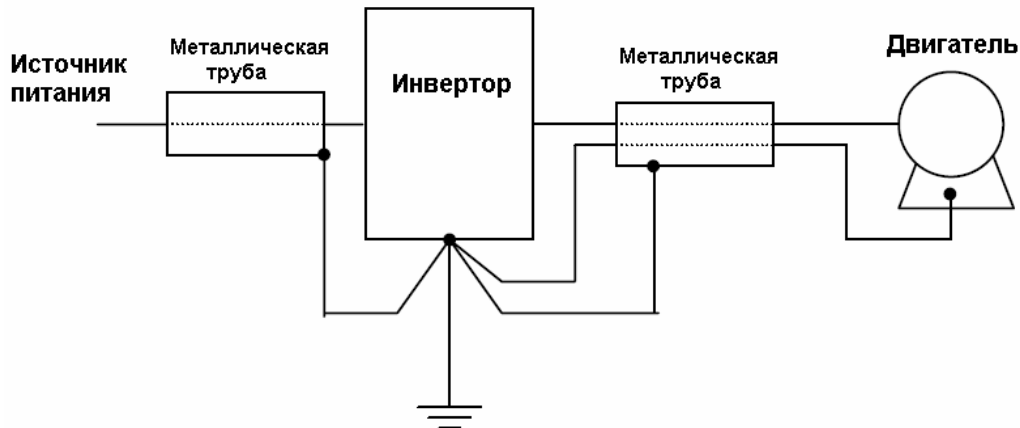


Рис.2-2. Пример подключения силовых кабелей.

2. При использовании металлической трубы или экранированного кабеля подключите заземление как можно ближе к инвертору соответственно к концу трубы или к оплетке экранированного кабеля с помощью специального электротехнического хомута. Если силовой кабель выдается за габариты шкафа управления, также сместите и точку заземления на расстояние до 10 см от шкафа.

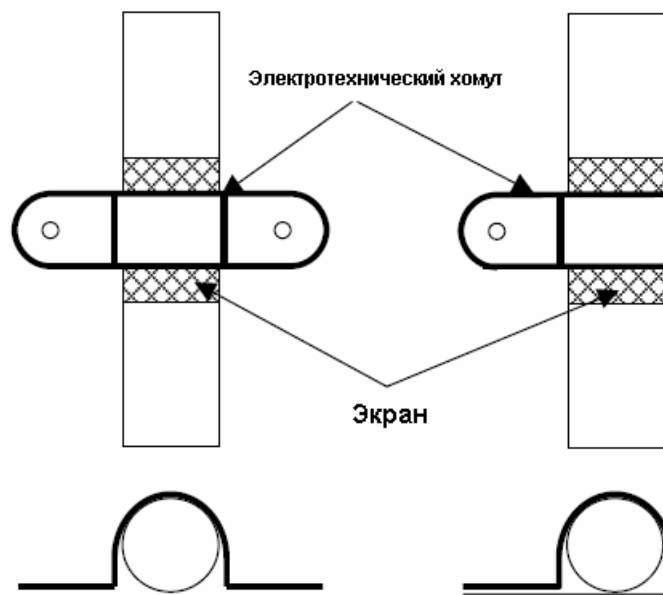


Рис.2-3. Пример заземления экранированного кабеля с помощью хомута.

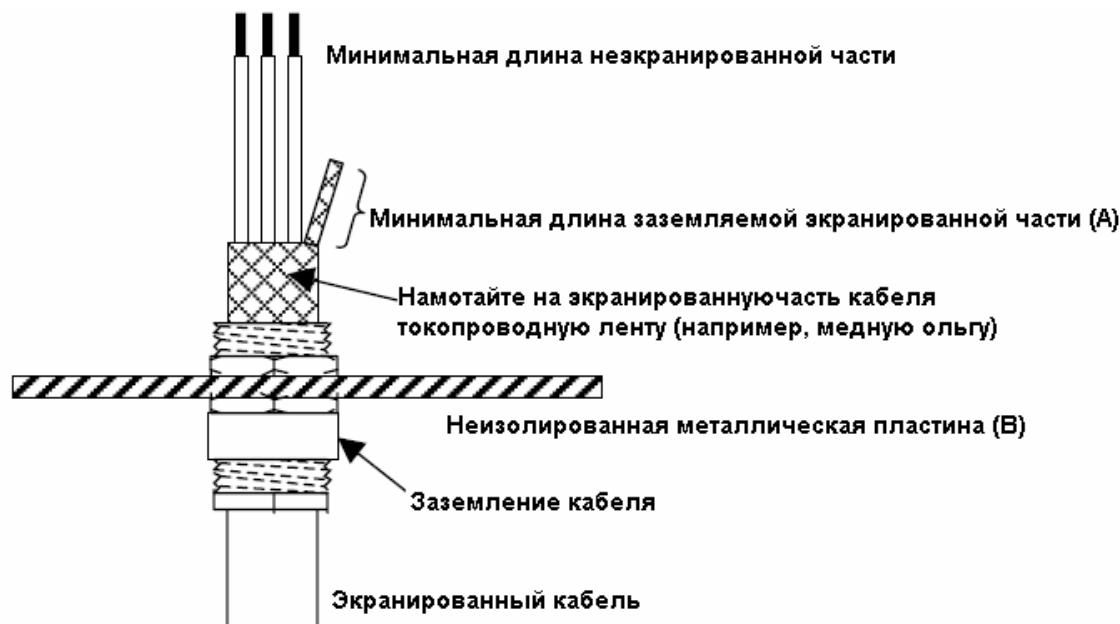


Рис.2-4. Пример заземления экранированного кабеля с использованием металлического кабельного канала.

Примечание: Убедитесь в заземлении экрана кабеля или металлической пластины (В), на которой монтируется кабель.

3. Подключите фильтр помех к инвертору кабелем длиной не более 50 см.
4. Разделите силовые цепи от цепей управления, а также цепь питания инвертора от выхода инвертора. Разнесите эти цепи как минимум на 30 см. Также избегайте скручивания силовых цепей с цепями управления и укладки их параллельно.
5. Проложите провода цепей управления внутри шкафа управления. Если эти цепи выходят за пределы шкафа, используйте экранированный кабель. При этом убедитесь, что экран этого кабеля заземлен в одной точке. Благодаря этому можно избежать образования петли из-за многоточечного заземления.

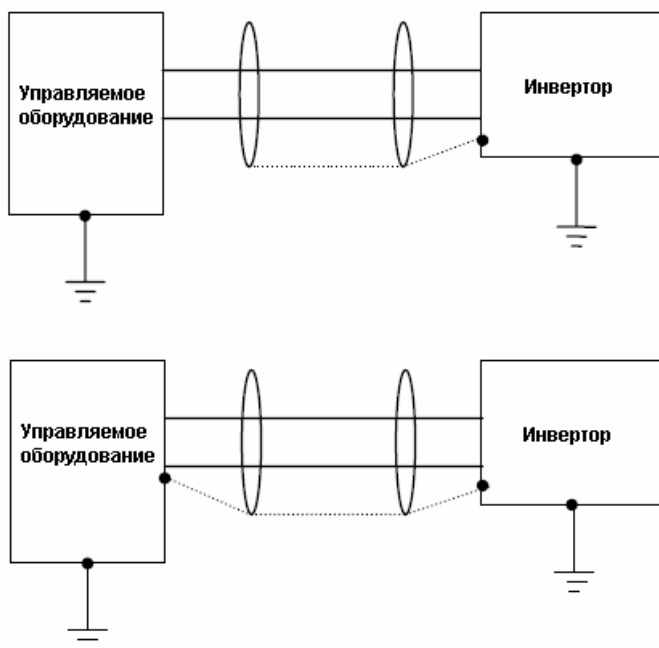
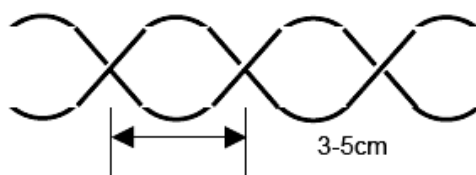
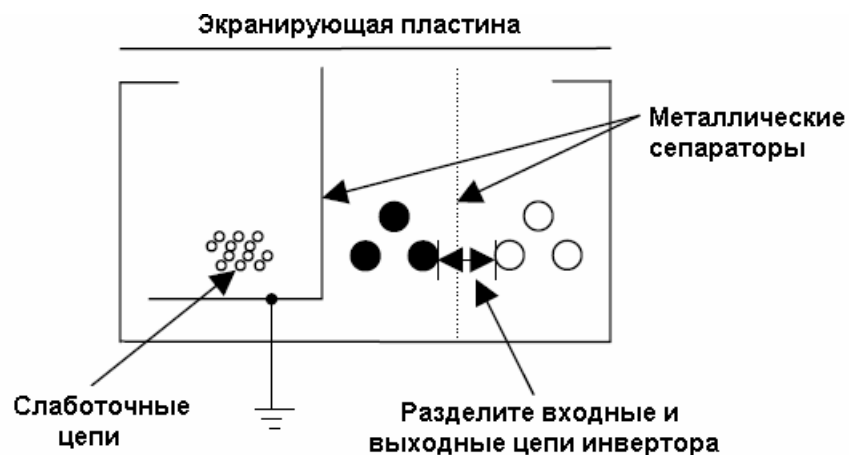


Рис.2-5. Методы заземления экранированного кабеля.

6. Установите ферритовый сердечник в цепи управления на расстоянии до 10 см от оборудования.
7. Установите индуктивный фильтр помех в силовой цепи (на входе или выходе) инвертора.
8. Для подключения энкодера используйте многопроволочный экранированный кабель. Заземлите его и со стороны энкодера, и со стороны инвертора.
9. При монтаже внутри шкафа избегайте прокладки кабеля «по воздуху», монтируйте кабель вдоль металлической пластины.
10. Используйте кабель типа «витая пара» при прокладке рядом с терминалами инвертора. Рекомендуемый шаг навивки «витой пары» 3-5 см.



11. Для цепей управления используйте кабель типа «витая пара» или экранированный кабель. Для аналогового сигнала, в частности, желательно использовать кабель с двойной изоляцией, а для очень слабого сигнала – двухпроводной витой экранированный кабель.
12. Скрутите отдельные провода для каждого сигнала управления.
13. Обеспечьте расстояние как минимум 10-20 см между проводкой инвертора и управляемым оборудованием. При крайней необходимости проложить в одном канале силовые кабели инвертора и слаботочные кабели другого оборудования установите металлические сепараторы.



14. Используйте четырехпроводный кабель для подключения двигателя, подключите провод заземления к инвертору.
15. Если провода управления должны быть относительно большой длины, то при удлинении кабеля с помощью терминалов (разъемов) правильно соединяйте и заземляйте экран кабеля.

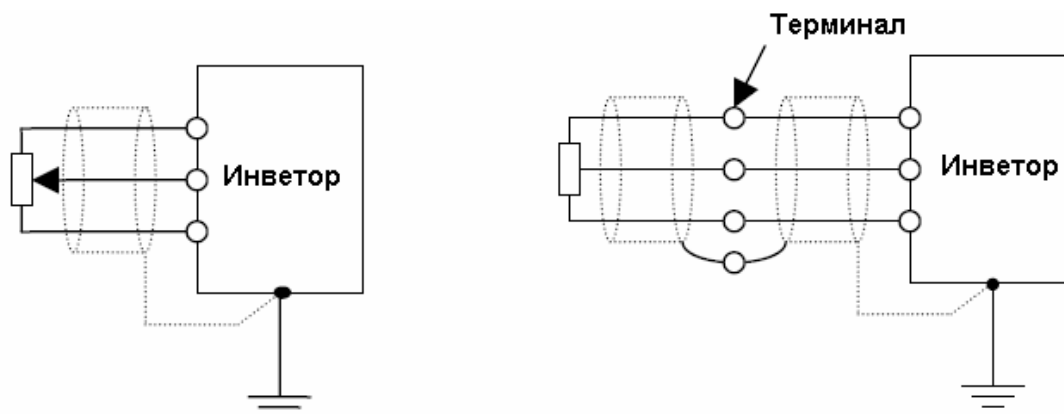


Рис.2-8. Заземление экранированного кабеля.

2.2.2. Заземление

Заземление предназначено для предотвращения наводок и излучения помех, а также для предотвращения поражения электрическим током при появлении утечек. Необходимое сопротивление заземления зависит от напряжения в силовой цепи. Заземление приборов должно быть либо независимым, либо осуществляться отдельными проводами до точки заземления.

- 1) Для заземления применяйте провод как можно большего сечения, точку заземления располагайте как можно ближе к инвертору.
- 2) Расположите провод заземления как можно дальше от силовых цепей инвертора и цепей сигналов управления.
- 3) Желательно, чтобы инвертор и другое оборудование имели раздельное заземление. Если заземление общее, используйте отдельные провода для соединения с точкой заземления.
- 4) Избегайте использования общего провода заземления для электродвигателя, трансформатора и т.п.

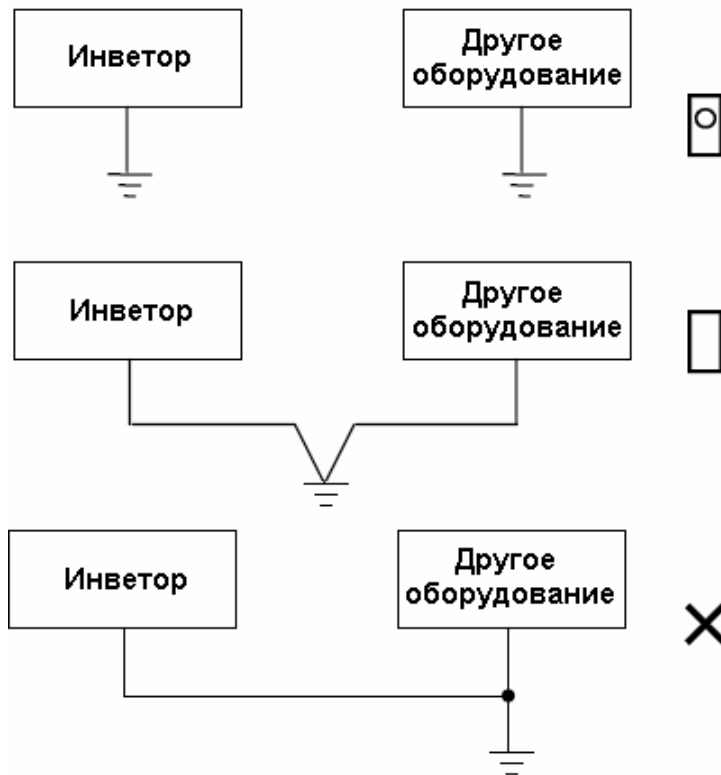


Рис.2-9. Способы заземления.

2.2.3. Шкаф управления

Экраном для помех, излучаемых инвертором, может служить шкаф (щит), в который установлен инвертор.

- 1) Используйте металлический шкаф, не подвергающийся действию коррозии.
- 2) Обеспечьте контакт двери шкафа с его корпусом при помощи специального уплотнителя для борьбы с электромагнитными помехами либо электропроводной прокладки.
- 3) В местах соединения верхней, боковых и других плоскостей шкафа не должно быть существенных зазоров. Рекомендуемый шаг при сварке или стяжке винтами порядка 10 см или менее. Желательно также, чтобы диаметр вентиляционных и других отверстий не превышал 10 см. Иначе, установите в каждое такое отверстие металлическую (перфорированную) пластину. В таком случае, необходимо обеспечить гарантированный электрический контакт между металлическими частями и между проводниками.

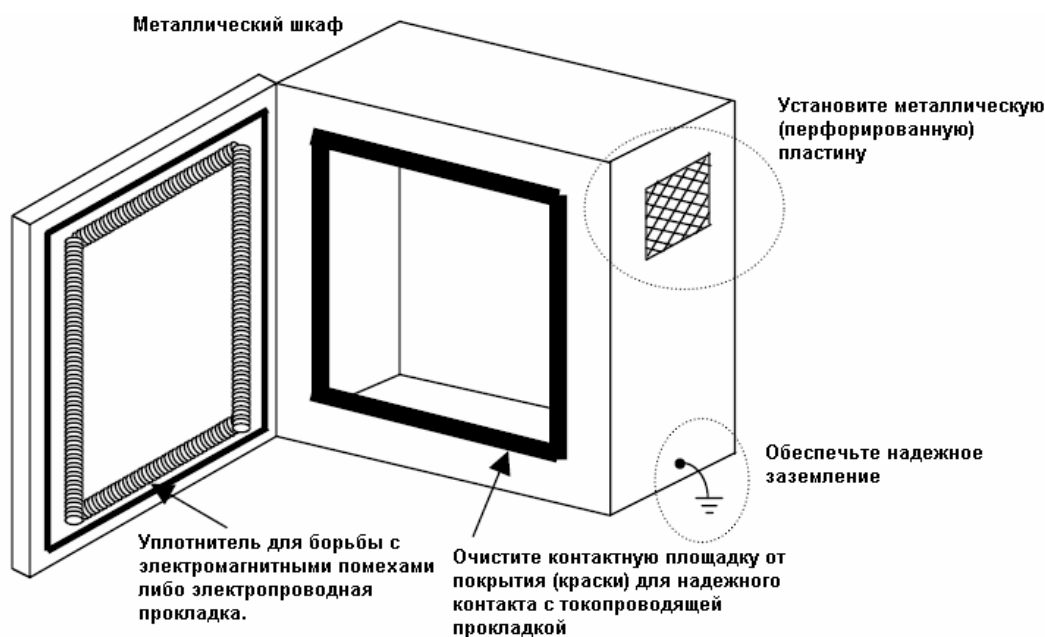


Рис.2-10. Пример оснащения шкафа управления.

- 4) При монтаже фильтра помех нанесите защитное покрытие или подложите изолятор под монтажную поверхность фильтра, а затем соедините контур заземления шкафа с фильтром. Контакт с поверхностью шкафа должен быть надежным. Также соедините внутреннее оборудование с монтажной панелью шкафа.
- 5) Соедините клемму заземления приборов управления с заземлением шкафа толстым и коротким проводом.
- 6) Заземлите толстым и коротким проводом также и сам шкаф.
- 7) Разделите шкаф управления инвертора и шкафы с оборудованием обработки различных сигналов или других приборов.
- 8) Если программируемый контроллер и другое оборудование установлены в один шкаф, Уделите особое внимание расположению приборов и, при необходимости, примите меры такие как, например, установка защитного экрана между инвертором и другим оборудованием.

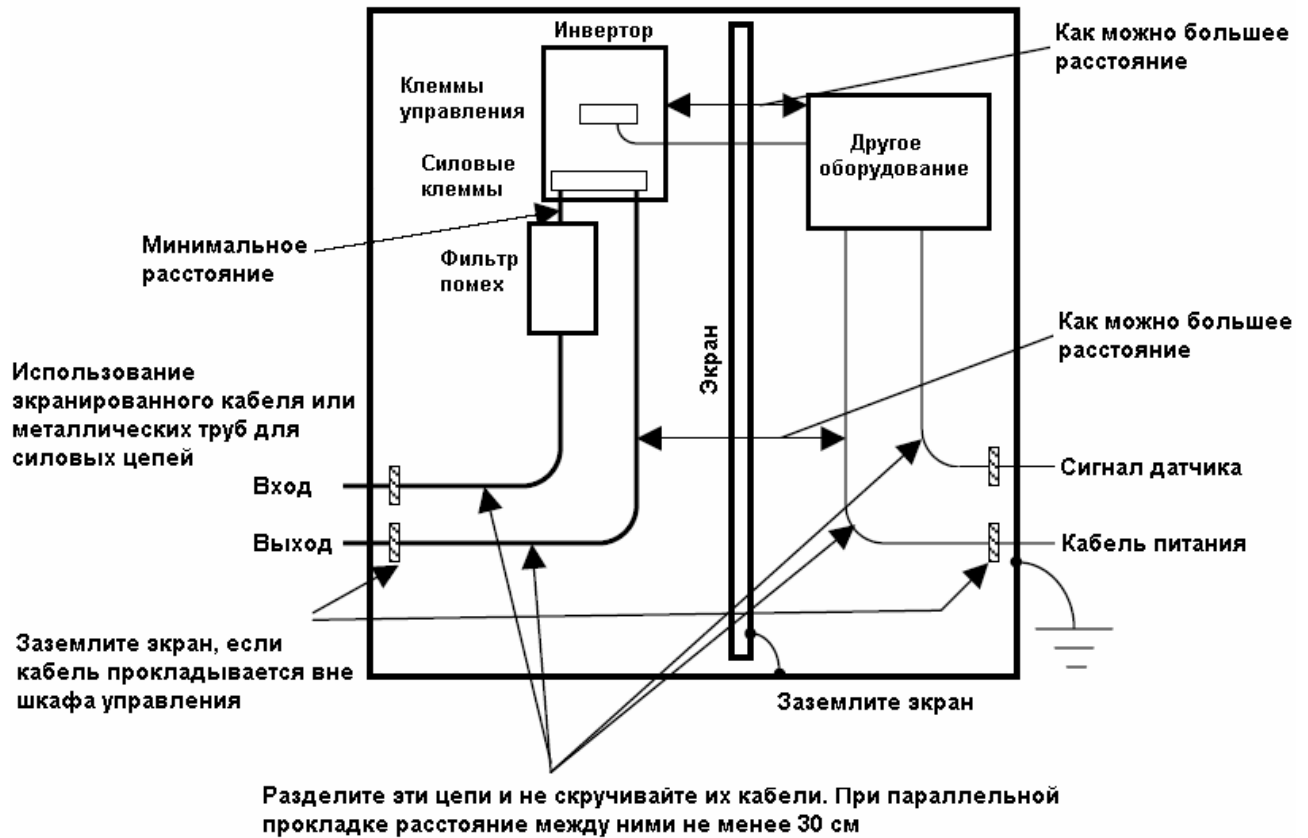


Рис.2-11. Пример компоновки оборудования внутри шкафа.

2.2.4. Несущая частота ШИМ инвертора

Уровень распространяющихся (возникающих) помех зависит от частоты несущей ШИМ инвертора и при ее увеличении он также возрастает.

В инверторах, позволяющих изменять частоту несущей ШИМ, уровень помех может быть минимизирован путем ее снижения. Кроме того, эта мера позволяет снизить и шум, исходящий из самого инвертора.

Параметр, отвечающий за настройку частоты несущей ШИМ инвертора, может иметь различный номер в зависимости от модели. За деталями обращайтесь к соответствующей инструкции инвертора.

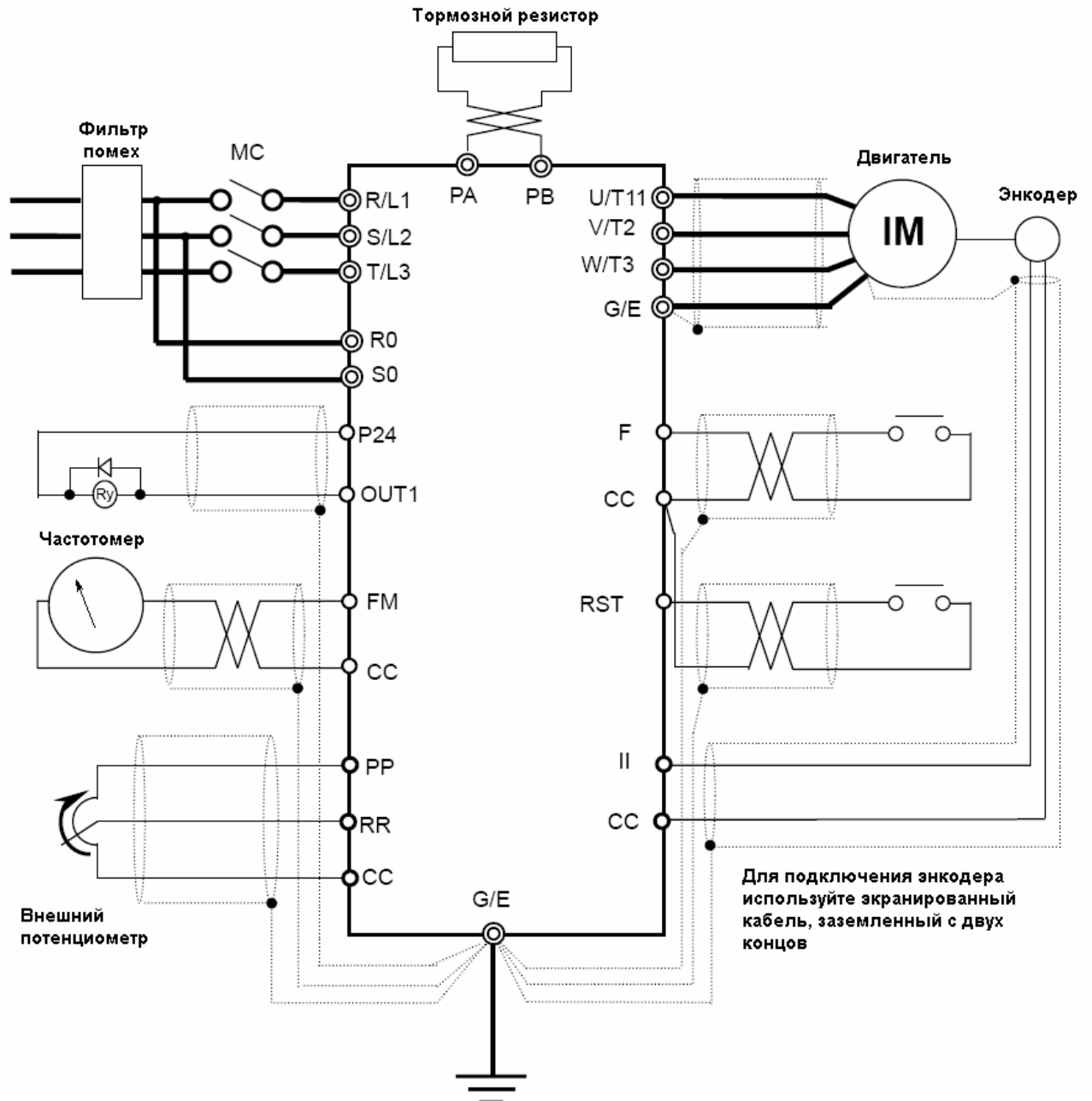


Рис.2-12. Пример подключения различных цепей инвертора.

2.3. Устройства подавления шумов

Для снижения помех, распространяющихся по проводам или излучаемых силовыми цепями в окружающую среду, используйте фильтр помех или трансформатор силового напряжения.

В общем виде фильтры помех можно классифицировать на основные типы, такие как емкостные фильтры, подключаемые параллельно силовым цепям, индуктивные, включаемые последовательно, и фильтры высокого подавления (LC-фильтры) для снижения радиопомех. В зависимости от желаемого результата, применяйте соответствующий фильтр.

Трансформаторы силового напряжения также делятся на изолирующие, экранирующие, шумограничительные и т.д. и каждый из них имеет свои специфические характеристики.

2.3.1. Фильтры помех

1. Емкостный фильтр

Этот фильтр состоит из конденсаторов и срезает высокочастотные токи, будучи подключенным между входными клеммами и клеммой заземления инвертора. Более удаленное подключение ухудшает эффект, поэтому соединительные проводники должны быть минимальной длины. Данный фильтр эффективен в диапазоне до нескольких мегагерц, т.е. в диапазоне АМ радиочастот. Необходимо помнить, что, так как фильтр содержит только емкости, то увеличиваются токи утечки, и установка нескольких таких фильтров может вызвать срабатывание автомата защиты от утечек на «землю».

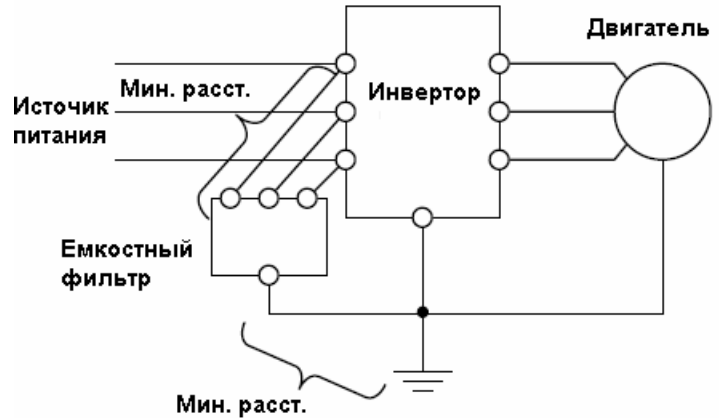


Рис.2-13. Емкостный фильтр

2. Индуктивный фильтр (нуль-фазный реактор)

Данный фильтр представляет собой четыре витка силового кабеля (все три фазы в одном направлении) вокруг ферритового сердечника. Нуль-фазный импеданс при этом возрастает и высокочастотные токи уменьшаются. Хотя этот фильтр пригоден как для входной, так и для выходной сторон инвертора, он не может быть использован на выходе инвертора в случае с экранированным кабелем или при проводке кабеля в металлической трубе. В частности, такой фильтр пригоден для подавления помех, излучаемых кабелем и снижения токов утечки. Эффективен в диапазоне от АМ радиочастот до 10 МГц.

Установите фильтр как можно ближе к инвертору. При сечении кабеля 22 мм^2 и более пропустите кабель через как минимум четыре ферритовых сердечника.

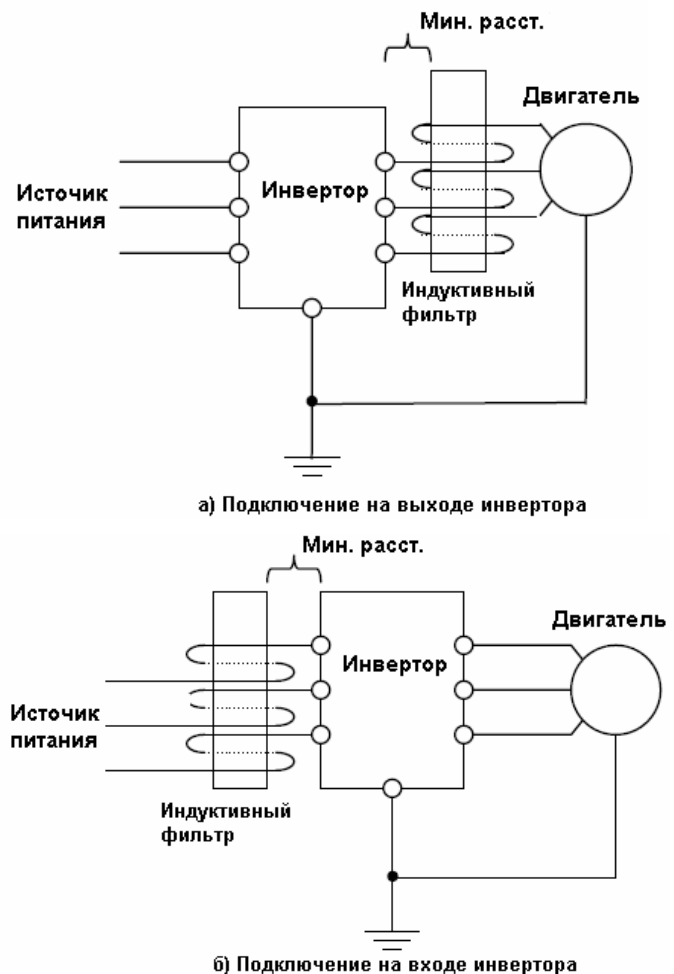


Рис.2-13. Индуктивный фильтр

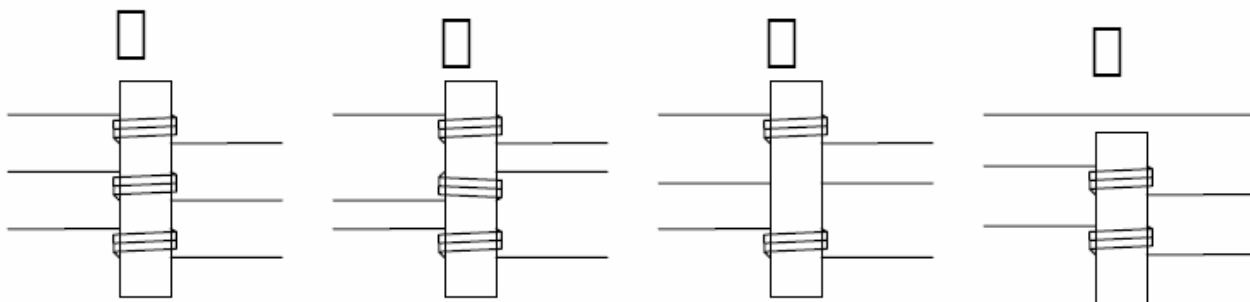
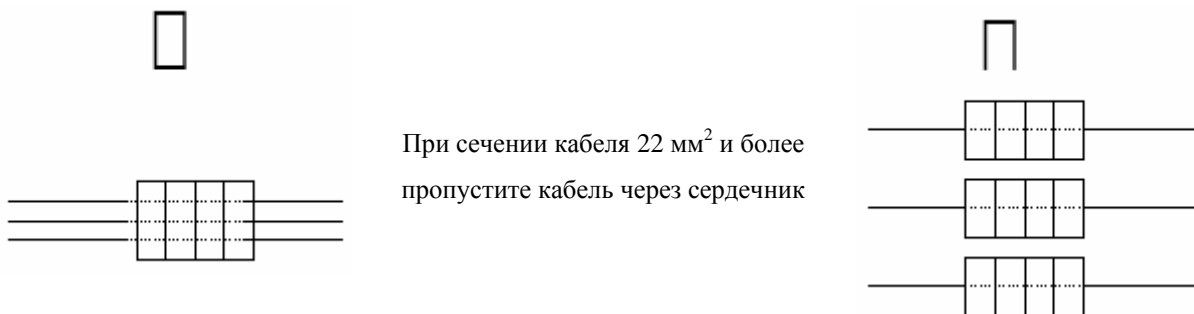


Рис.2-15. Способы намотки индуктивного фильтра.



При сечении кабеля 22 мм^2 и более
пропустите кабель через сердечник

Рис.2-16. Способы пропускания кабеля при намотке индуктивного фильтра.

3. LC-фильтр (высокого подавления)

Состоит из индуктивных (L) и емкостных (C) элементов. Подключите этот фильтр на входе инвертора. Имеет превосходные характеристики ослабления шумов инвертора в диапазоне от АМ радиочастот до 10МГц и менее.

Разнесите входные и выходные цепи фильтра.

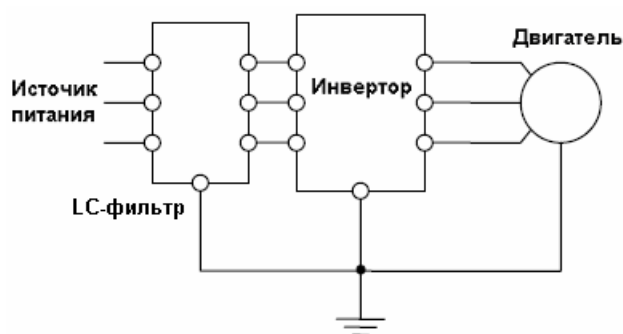


Рис.2-17. LC-фильтр

4. Предостережения по монтажу LC-фильтра.

- Длина кабеля между фильтром и инвертором не должна превышать 50 см.
- Прокладывайте входные и выходные цепи отдельно. Расстояние между ними должно быть не менее 30 см. Не скручивайте их и не прокладывайте параллельно.

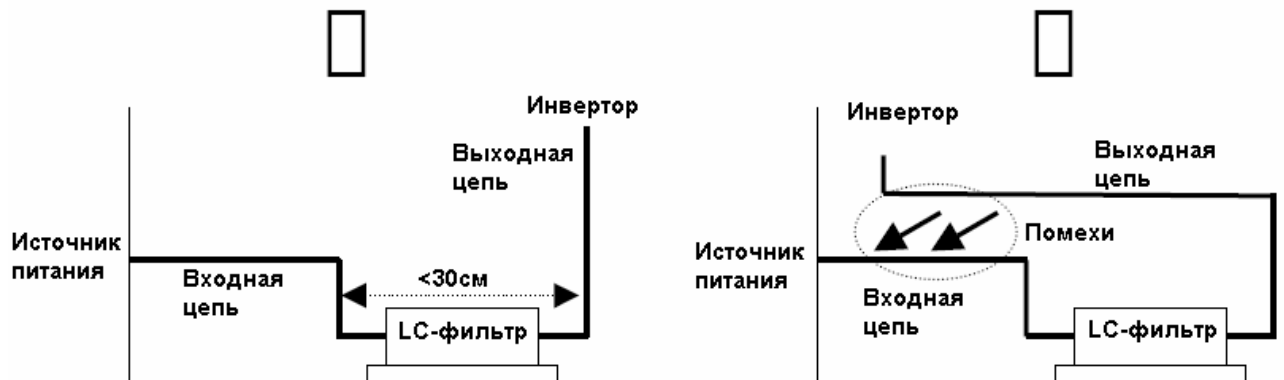


Рис.2-18. Разнесение входной и выходной цепей LC-фильтра.

- с) Минимизируйте длину как входных, так и выходных цепей фильтра.

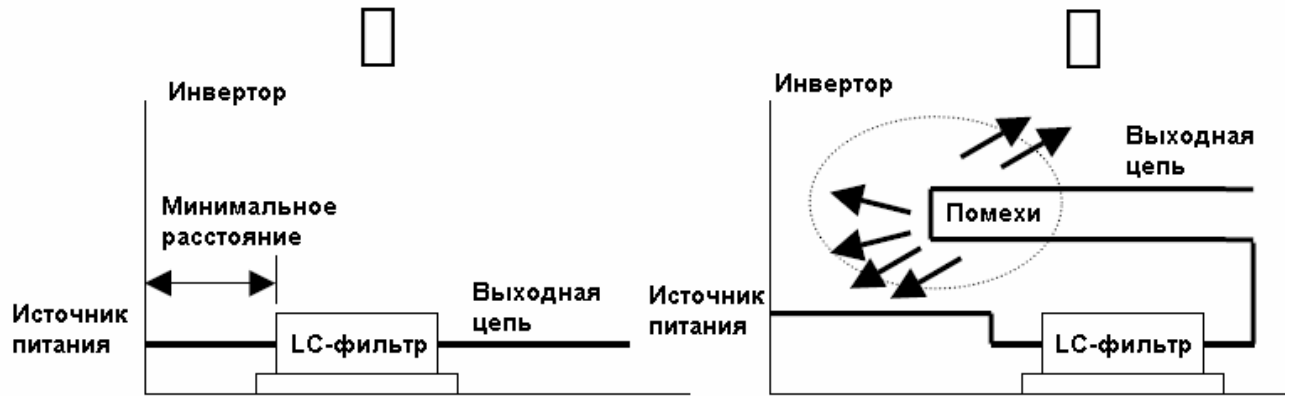


Рис.2-19. Монтаж LC-фильтра.

- д) Минимизируйте сопротивление заземления фильтра.

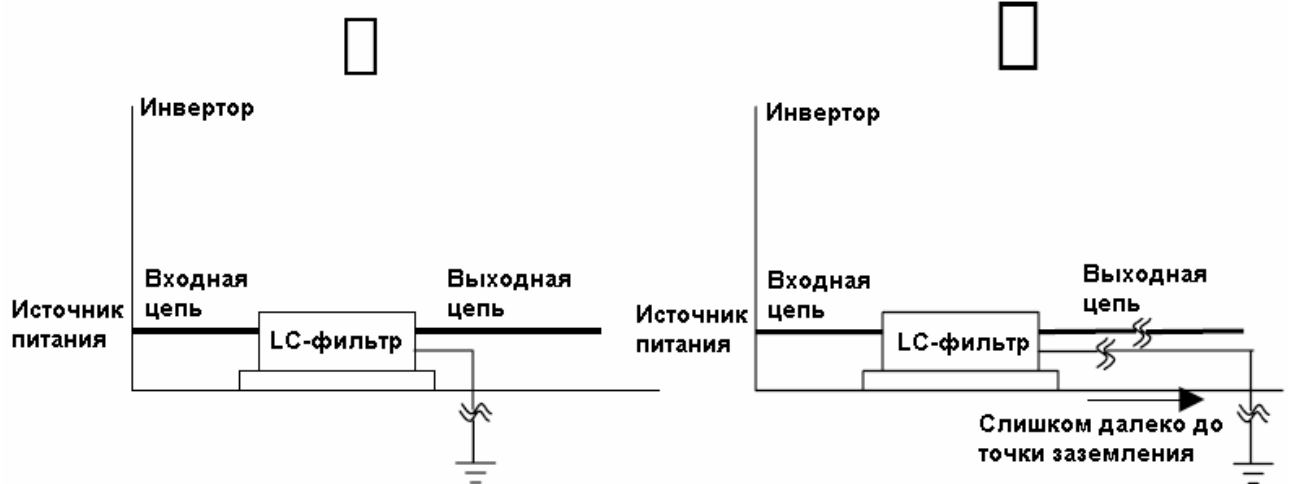


Рис.2-20. Оптимизация заземления LC-фильтра.

- е) Подключите фильтр помех так, чтобы к его выходу была подключена не только силовая цепь инвертора, но и питание системы управления.

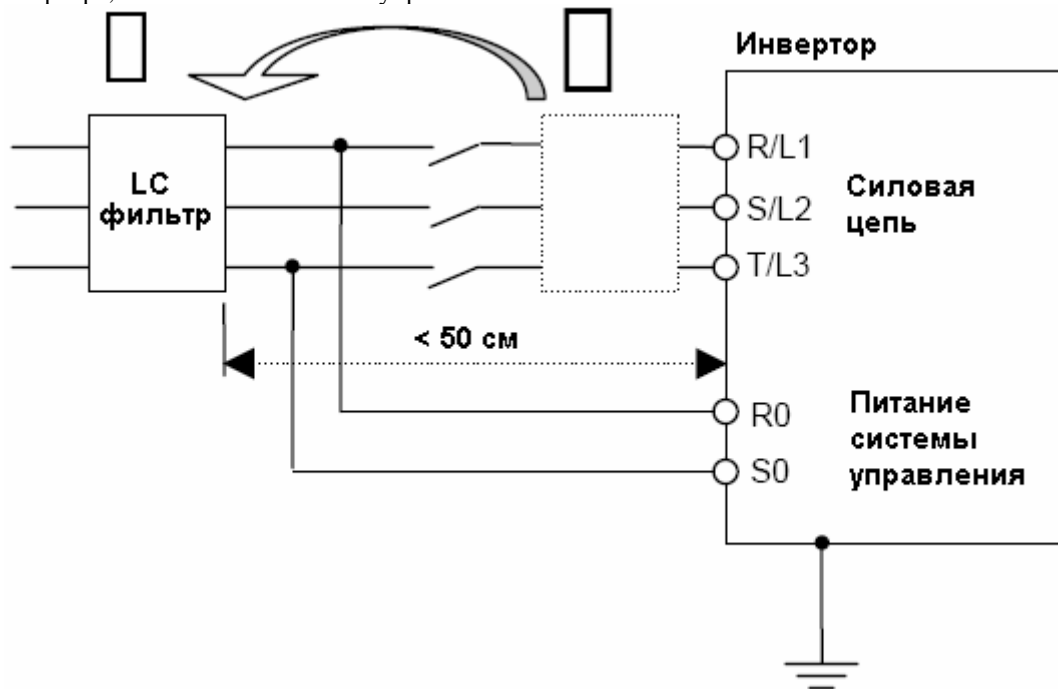


Рис.2-21. Точка подключения фильтра помех.

2.3.2. Трансформаторы силового напряжения

Трансформаторы силового напряжения могут быть подключены в силовой цепи как мера по снижению помех. Трансформаторы силового напряжения делятся на три типа: «изолирующие», «экранирующие» и «шумоподавляющие», причем каждый из них отличается конструкцией и характеристиками (Табл.2-2 и 2-3). Поэтому выбор типа трансформатора должен происходить в соответствии с действительными условиями и предпринимаемыми мерами.

В то время как шумоподавляющие трансформаторы могут подавлять высокочастотный шум, экранирующие трансформаторы могут подавлять только синфазные помехи относительно низкой частоты. Изолирующие трансформаторы не могут подавлять высокочастотный шум. Но, так как шумоподавляющие трансформаторы дороги, то используются относительно редко в сочетании с инвертором, но чаще в силовых цепях помехочувствительного электронного оборудования.

Табл.2-2. Типы трансформаторов и их эффективность в подавлении шума (1).

Тип	Конструкция	Характеристика	
Изолирующий	Первичная и вторичная катушка трансформатора изолированы друг от друга для предотвращения проникновения токов и напряжения первичной обмотки напрямую во вторичную цепь.	Между катушками первичной и вторичной обмоток отсутствует прямое электрическое соединение.	Незначительное подавление синфазных помех в низкочастотном диапазоне.
Экранирующий	Кроме изоляции первичной и вторичной обмоток, при помощи электростатического экрана, расположенного между обмотками и по их периферии, достигается защита от проникновения высокочастотных помех из первичной обмотки во вторичную.	Отсутствие как прямой, так и емкостной связи между первичной и вторичной обмоткой.	Подавление синфазных помех в низкочастотном диапазоне.
Шумоподавляющий	Помимо вышеприведенных особенностей конструкции экранирующего трансформатора, обмотки шумоподавляющего трансформатора и их периферия имеют многослойный электромагнитный экран, а сами обмотки и сердечник сделаны из специальных материалов и устроены таким образом, что высокочастотные магнитные потоки не пересекают обмотки. Благодаря этому высокочастотная составляющая входного тока (напряжения) не проникает во вторичную цепь.	Отсутствие как прямой и емкостной связи, так и высокочастотных наводок между первичной и вторичной обмоткой.	Подавление как синфазных так и аддитивных помех

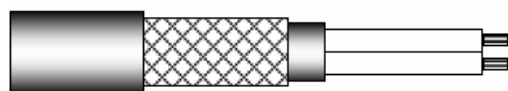
Табл.2-3. Типы трансформаторов и их эффективность в подавлении шума (2).

Тип	Эффект шумоподавления					
	Синфазная помеха			Аддитивная помеха		
	Высшие гармоники	Низкие частоты	Высокие частоты	Высшие гармоники	Низкие частоты	Высокие частоты
Изолирующий	Э	МЭ	Э	Э	Э	Э
Экранирующий	Э	Э	МЭ	Э	Э	Э
Шумоподавляющий	Э	Э	Э	Э	Э	Э

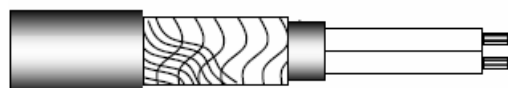
Э: эффективен,
МЭ: малоэффективен.

2.3.3. Экранированные кабели

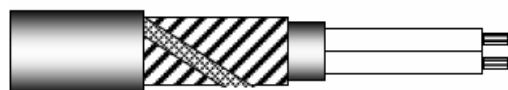
Для силовых цепей и цепей управления инвертора может быть использован экранированный кабель различного типа, в зависимости от материала и метода его обработки. Экран может быть многослойным из медной фольги, в виде оплетки из медной проволоки, из луженой мягкой медной проволоки или других типов. При использовании экранированного кабеля возможно ложное срабатывание автомата защиты от утечек тока. В таком случае используйте обычный кабель и уменьшите токи утечки, подключив индуктивный фильтр.



Экран – оплетка из металлической проволоки.



Экран – оплетка из металлической проволоки поверх металлической фольги.



Экран – оплетка из металлической фольги.

Рис.2-22. Разновидности экранированного кабеля.

2.4. Меры по защите элементов, чувствительных к помехам

Необходимо, чтобы оборудование установленное рядом с инвертором обладало повышенной помехоустойчивостью. Для предотвращения влияния помех на сигнальные кабели такого оборудования используйте фильтры помех и экранированные кабели или экранированные кабели типа «витая пара». Кроме того, примите дополнительно следующие меры:

1. Уменьшите импеданс сигнальной цепи подключением конденсаторов или резисторов на входные и выходные терминалы цепи.
2. Обеспечьте повышенный импеданс, например, с помощью подключения дросселя последовательно в сигнальную цепь или пропуская провод через ферритовый сердечник.

Используйте провода большего сечения для нулевой сигнальной линии и заземления.

Помехи, исходящие из оборудования, установленного рядом с инвертором, также могут вызвать его неустойчивую работу. Если рабочая частота инвертора нестабильна, то:

3. Увеличьте постоянную времени входного фильтра инвертора.

Существуют модели инверторов с возможностью изменять постоянную времени фильтра в блоке обработки сигнала задания частоты (внешнее напряжение или ток). Если помехи вызывают нестабильную работу инвертора, увеличьте постоянную времени этого фильтра. Однако, при этом время оклика (реакция) инвертора ухудшается.

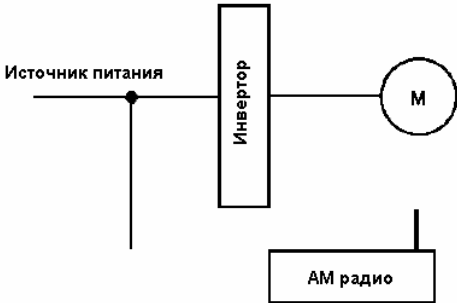
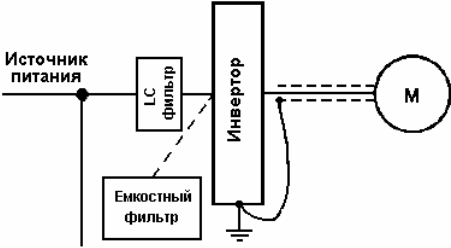
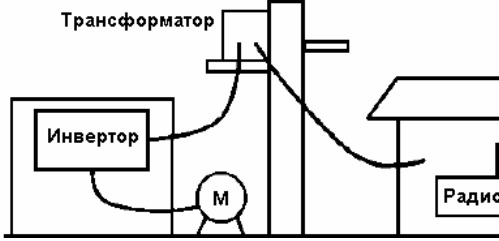
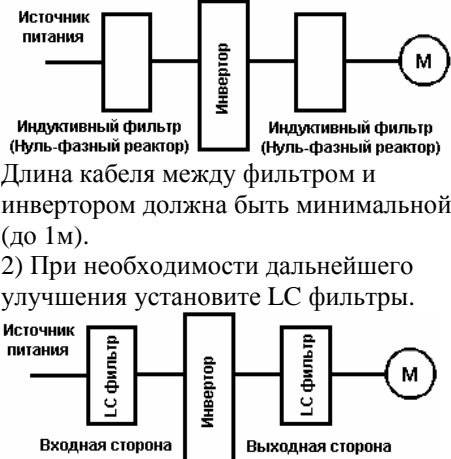
2.5. Влияние инвертора на другое оборудование и меры противодействия

Этот раздел знакомит с воздействием инвертора на существующее электронное оборудование и оборудование, встроенное в ту же систему, что и инвертор. Описываются также и соответствующие противомеры.

2.5.1. Влияние на АМ радиовещание

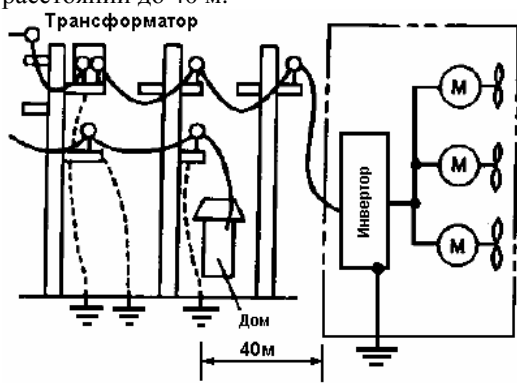
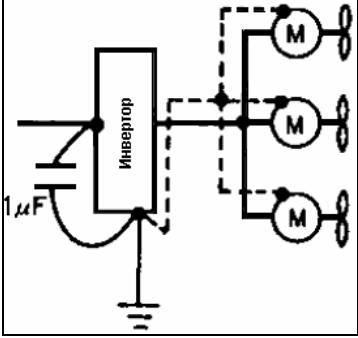
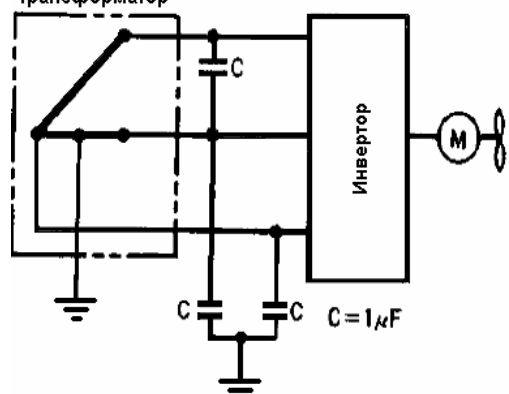
Во время работы инвертора помехи могут наводиться на АМ радиовещание. В то же время его работа почти не влияет на FM радиовещание и телевизионные трансляции.

Так как велика вероятность приема помех, излучаемых инвертором, то эффективной противомерой будет установка фильтра помех на входе питания инвертора.

	Случай	Противомеры	Указания
1	<p>Во время работы инвертора возникают помехи в АМ радиодиапазоне 500~1500кГц.</p>  <p><Возможная причина> Помехи распространяются через цепи питания или излучаются выходным кабелем инвертора.</p>	<p>1) Подключите LC фильтр в цепи питания инвертора (емкостный фильтр – в качестве упрощенной меры). 2) Проложите кабель от инвертора к двигателю в металлической трубе. Прим.: Длина кабеля между фильтром и инвертором должна быть минимальной (до 1м).</p> 	<p>1) Уменьшите помехи, излучаемые кабелем. 2) Уменьшите помехи, распространяемые по проводам питания. Или используйте экранированный кабель. Прим.: В горной местности или другой местности со слабым радиоприемом можно и не добиться желаемых результатов.</p>
2	<p>Во время работы инвертора возникают помехи в АМ радиодиапазоне 500~1500кГц.</p>  <p><Возможная причина> Помехи или излучаются кабелем питания и выходным кабелем инвертора.</p>	<p>1) Подключите LC фильтр как в цепи питания, так и на выходе инвертора. Длина кабеля между фильтром и инвертором должна быть минимальной (до 1м). 2) При необходимости дальнейшего улучшения установите LC фильтры.</p> 	<p>Уменьшите помехи, излучаемые кабелем.</p>

2.5.2. Влияние на телефонию



Во время работы инвертора может наблюдаться ухудшение качества звука в телефонной линии. Так как это в основном происходит из-за того, что высокочастотные токи утечки, излучаемые как инвертором, так и двигателем, наводятся на экранированные телефонные кабели, то в таком случае эффективен возврат токов утечки на терминатор заземления инвертора с помощью подключения каждого двигателя к общему терминалу заземления.

Случай	Противомеры	Указания
<p>Если вентиляторы имеют привод от инвертора, то помехи наводятся на телефонные линии в доме, находящемся на расстоянии до 40 м.</p>  <p>1 <Возможная причина> При возвращении высокочастотных токов утечки через терминал заземления инвертора эти токи протекают по экрану телефонного кабеля и наводят помехи посредством электростатической индукции.</p>	<p>Возврат токов утечки на корпус инвертора с помощью подключения каждого двигателя к общему терминалу заземления, а затем подключение конденсатора емкостью 1 мкФ между входом и терминалом заземления инвертора.</p>  <p>Силовой трансформатор</p> 	<p>1) Благодаря частотной составляющей в звуковом диапазоне индуктивный или LC фильтр может оказаться бесполезным. 2) Для 200В силовых трансформаторов с V-образным соединением обмоток (неполный треугольник) из-за разницы в потенциалах заземления подключение конденсаторов по приведенной ниже схеме требует особой осторожности.</p>

2.5.3. Влияние на бесконтактные переключатели

Работа инвертора может влиять на функционирование бесконтактного переключателя емкостного типа. В таком случае при отказах необходимо установить фильтр на входе инвертора или изменить схему питания бесконтактного переключателя. Может оказаться эффективным замена бесконтактного переключателя емкостного типа на бесконтактный переключатель магнитного или другого типа с повышенной помехоустойчивостью.

Токи утечки на выходе инвертора через общие линии также могут нарушить функционирование бесконтактных переключателей. Проблему в таком случае можно решить, подключив индуктивный (нуль-фазный) фильтр на выходе инвертора.


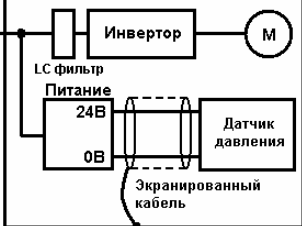
	Случай	Противомеры	Указания
1	<p>Неустойчивая работа бесконтактного переключателя.</p>  <p><Возможная причина> При возвращении высокочастотных токов утечки через терминал заземления инвертора эти токи протекают по экрану телефонного кабеля и наводят помехи посредством электростатической индукции.</p>	<p>1) Подключите LC фильтр на выходе инвертора. 2) Подключите емкостный фильтр на входе инвертора. 3) Подключите общий провод питания (0В) к корпусу машины через конденсатор.</p> 	<p>1) Снизьте шум, исходящий от инвертора. 2) Используйте бесконтактный переключатель с повышенной помехоустойчивостью, например, магнитного типа.</p>

2.5.4. Влияние на датчики давления

Работа инвертора может также влиять и на функционирование датчиков давления.



Так как сбои в их работе происходят из-за наводок помех на сигнальные линии через заземление, то в качестве мер против помех необходимо установить фильтр на входе инвертора или изменить метод подключения.

Токи утечки выходной линии инвертора также могут действовать на датчики давления через их общую линию. В таком случае, возможно, необходимо подключение индуктивного фильтра (нуль-фазный реактор) на выходе инвертора.

	Случай	Противомеры	Указания
1	<p>Неустойчивая работа датчика давления.</p>  <p><Возможная причина> Помехи проникают с корпуса через экран кабеля и нарушают работу датчика давления.</p>	<p>1) Подключите LC фильтр на входе инвертора. 2) Отсоедините экран кабеля датчика от корпуса и подключите к общему (0В) проводу.</p> 	<p>1) Подключите экран сигнального кабеля к общему проводу системы. 2) Снизьте шум, исходящий от инвертора.</p>

2.5.5. Влияние на датчики позиционирования (импульсные энкодеры)

Работа инвертора может вызвать появление ложных импульсов с преобразователя датчика и сместить момент останова. Такое смещение возможно, когда силовой кабель двигателя перекручен в жгут с сигнальным кабелем энкодера. Эффект наведения и излучения помех можно снизить раздельной прокладкой этих кабелей на расстоянии не менее 20 см. Также эффективно и подключение фильтра помех как на входе, так и на выходе инвертора.

	Случай	Противомеры	Указания
1	<p>Неустойчивая работа датчика давления.</p>  <p>Источник питания — Инвертор — М Преобразователь — Экранированный кабель — Энкодер</p> <p><Возможная причина> Так как кабели свиты в жгут, то ложные импульсы вызваны наводками со стороны силового кабеля, соединяющего двигатель с инвертором</p>	<p>1) Подключите LC фильтр и емкостной фильтр на входе инвертора. 2) Подключите LC фильтр на выходе инвертора.</p>  <p>Источник питания — LC фильтр — Инвертор — М Преобразователь — Емкостной фильтр — Экранированный кабель — Энкодер</p>	<p>1) Эта мера применяется в случае, когда силовой и сигнальный кабель невозможно разделить. 2) Снизьте помехи наводок и излучения от выходной линии инвертора.</p>

3. Эффективность мер по подавлению шумов (Пример оценки)

При усилении мер против помех их эффективность увеличивается. Однако, иногда достаточно более простых и экономичных мер в соответствии с уровнем помех и конкретными условиями.

Данный раздел описывает результаты измерения кондуктивных помех, распространяемых по проводам или излучаемых помех. В частности, описываются следующие результаты измерений:

- 1) Эффективность встроенного в инвертор фильтра помех
- 2) Эффективность установки фильтра помех на входе инвертора, содержащего встроенный фильтр
- 3) Эффективность подключения индуктивного фильтра на выходе инвертора
- 4) Эффективность снижения несущей частоты ШИМ инвертора
- 5) Эффективность применения экранированного кабеля на выходе инвертора

Данные по кондуктивным помехам получены в диапазоне частот от 150кГц до 30МГц, данные по излучаемым помехам относятся к вертикально поляризованным волнам и получены в диапазоне частот от 30МГц до 80МГц. Так как уровни этих помех зависят от таких факторов, как тип и длина используемого кабеля, способа установки оборудования, метода проводки и подключения, то представленная ниже информация должна использоваться только в качестве сравнительного примера эффективности различных способов снижения помех.

3.1. Пример действия фильтра помех

3.1.1. Эффективность встроенного фильтра (для серии VF-A7)

(1) VF-A7-2037PL со встроенным фильтром и без него

Встроенный в инвертор фильтр значительно снижает кондуктивные помехи, исходящие от инвертора. В то время как обычные модели для снижения помех требуют подключения дополнительного фильтра, VF-A7 сам может выполнять эту функцию (только для моделей, содержащих фильтр).

Встроенный фильтр в инвертор VF-A7 снижает шум на 30 дБмкВ в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 МГц и 20 дБмкВ в частотном диапазоне от 1 МГц до 10 МГц, и потому соответствует европейскому стандарту "EN55011 Gr.1 Class A". Однако, так как через конденсаторы встроенного фильтра протекают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

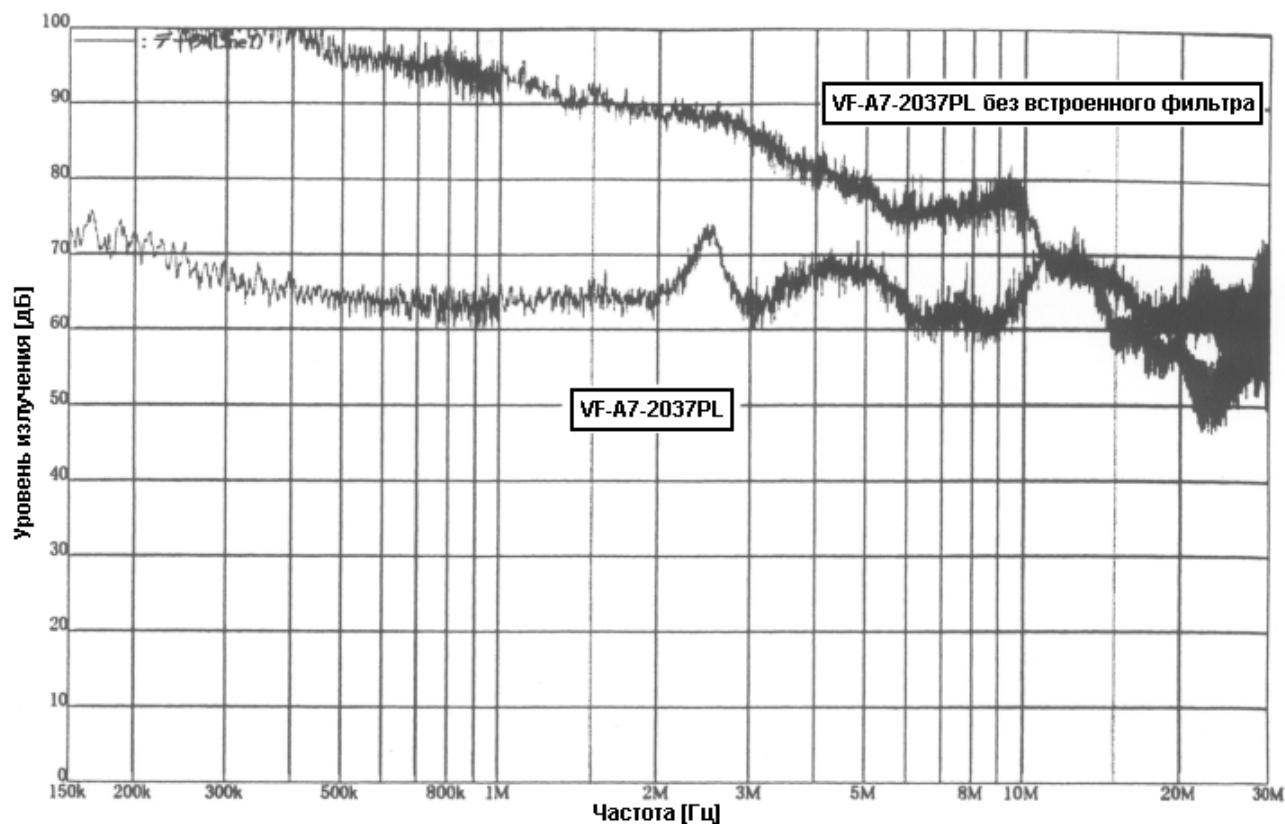


Рис.3-1. Пример эффективности встроенного фильтра VF-A7-2037PL (для кондуктивных помех)

(2) Сравнение между отдельным применением VF-A7-2037PL и в сочетании с ЭМИ фильтром (FN258-30/07)

Если инвертор VF-A7, содержащий фильтр, применяется совместно с внешним ЭМИ фильтром для соответствия ЭМС директивам, может быть достигнуто еще большее подавление помех до 40 дБмкВ в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 МГц и около 30 дБмкВ в частотном диапазоне от 1 МГц до 10 МГц. Однако, так как при подключении ЭМИ фильтра возрастают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

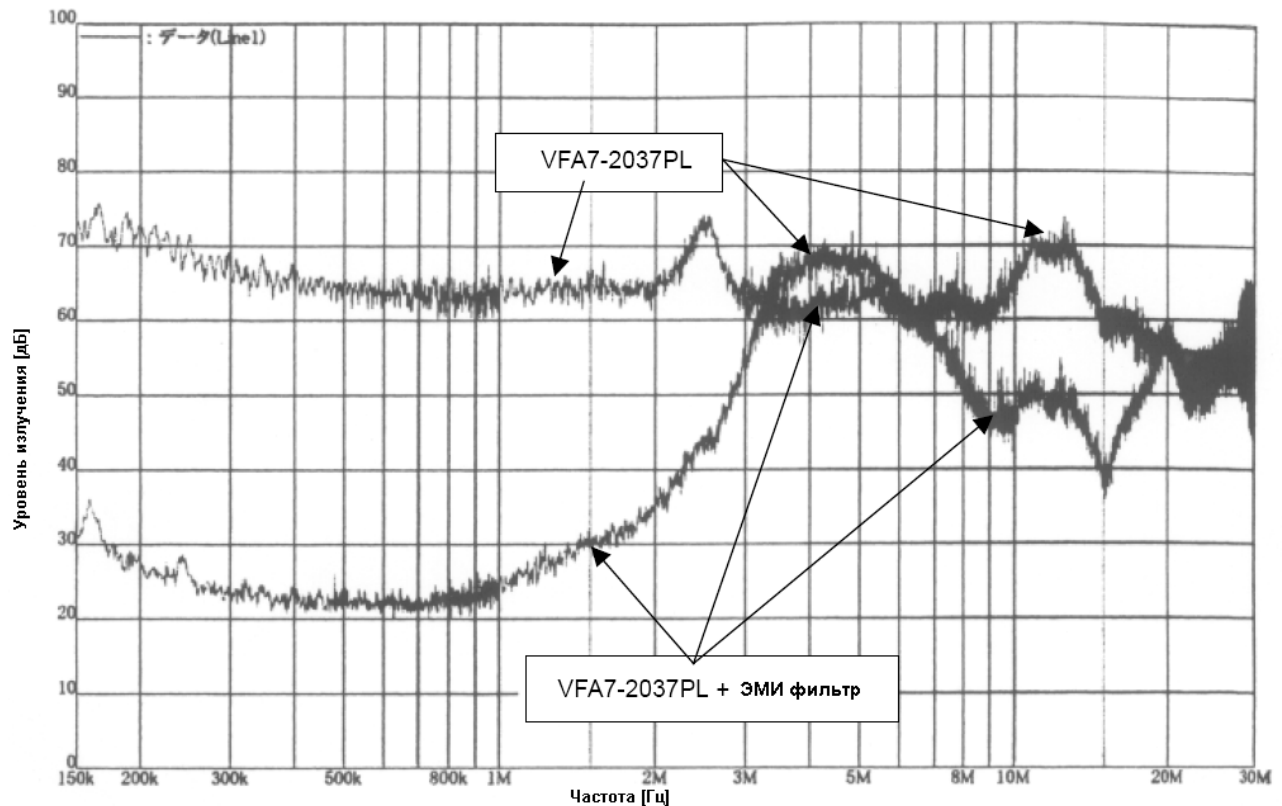


Рис.3-2. Пример эффективности подключения ЭМИ фильтра к VF-A7-2037PL (для кондуктивных помех)

3.1.2. Эффективность встроенного фильтра (для серии VF-S9)

(1) VF-S9S-2022PL со встроенным фильтром и без него

Встроенный в инвертор фильтр значительно снижает кондуктивные помехи, исходящие от инвертора. В то время как обычные модели для снижения помех требуют подключения дополнительного фильтра, VF-S9 сам может выполнять эту функцию (только для моделей, содержащие фильтр PL –типа).

Встроенный фильтр в инвертор VF- S9 снижает шум на 30 дБмкВ в частотном диапазоне от 150 кГц до 2 МГц и 15 дБмкВ в частотном диапазоне от 2 МГц до 10 МГц, и потому соответствует европейскому стандарту "EN55011 Gr.1 Class A". Однако, так как через конденсаторы встроенного фильтра протекают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

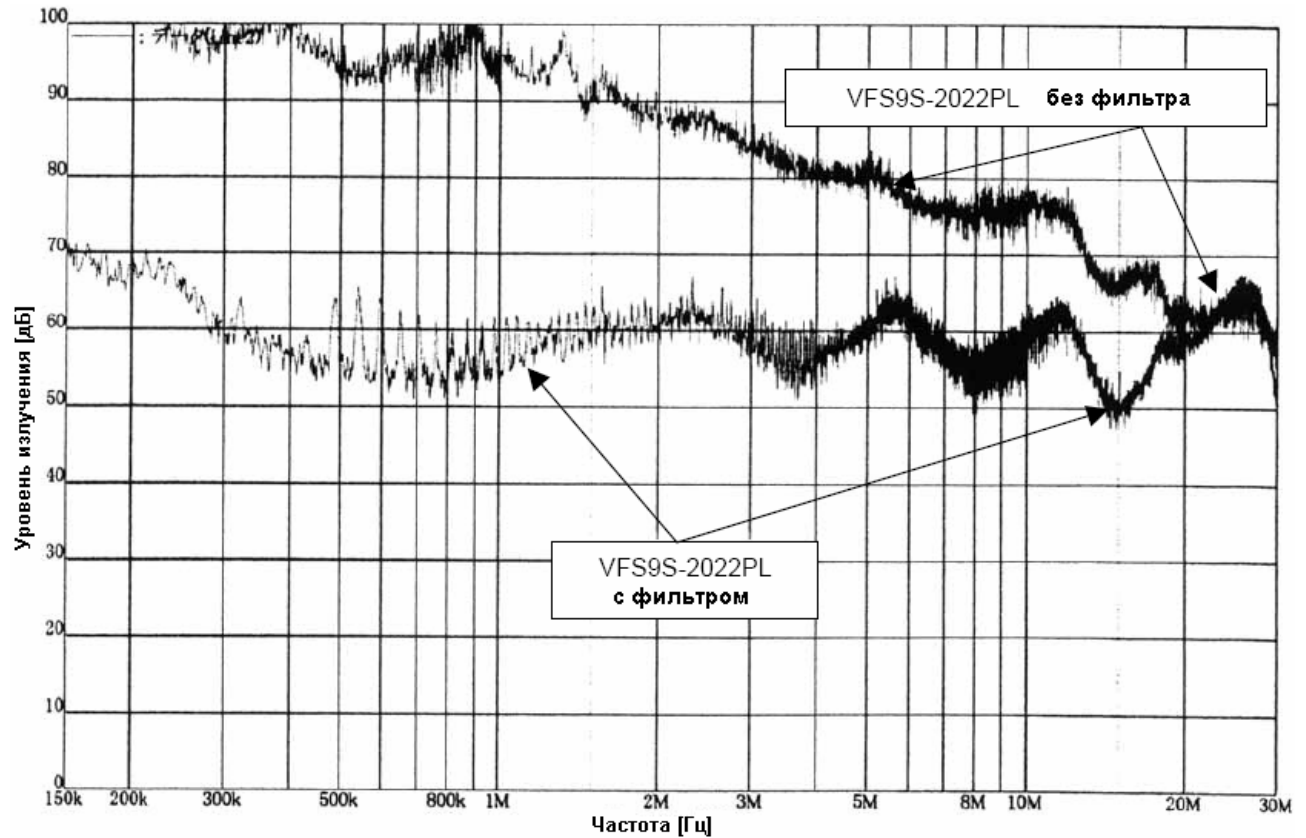


Рис.3-3. Пример эффективности встроенного фильтра VF- S9-2022PL (для кондуктивных помех)

(2) Сравнение между отдельным применением VF-S9S-2022PL и в сочетании с ЭМИ фильтром (EMFS2025DZ)

Если инвертор VF-S9, содержащий фильтр PL типа, применяется совместно с внешним ЭМИ фильтром для соответствия ЭМС директивам, может быть достигнуто еще большее подавление помех до 20 дБмкВ в частотном диапазоне от 150 кГц до 2 МГц и около 20 дБмкВ в частотном диапазоне от 2 МГц до 10 МГц. Однако, так как при подключении ЭМИ фильтра возрастают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

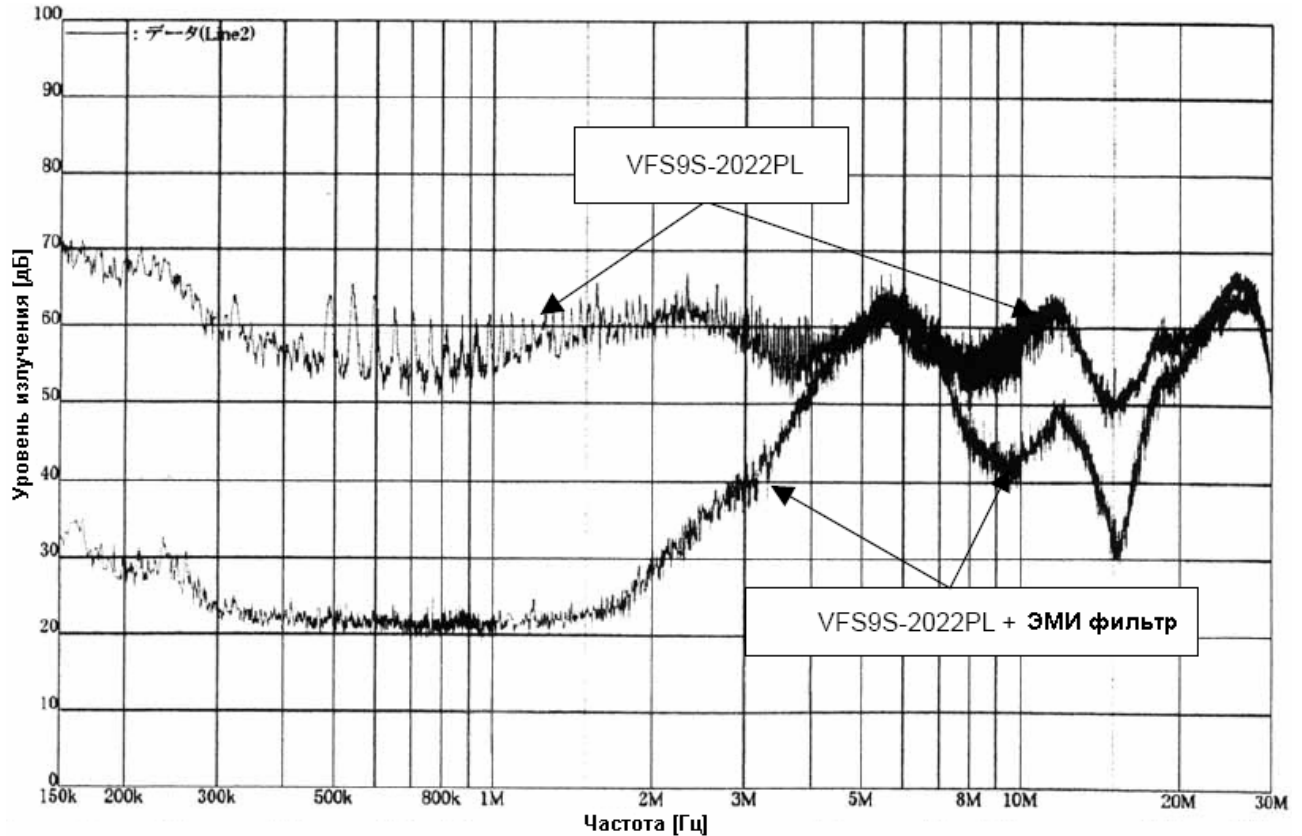


Рис.3-4. Пример эффективности подключения ЭМИ фильтра к VF- S9-2022PL (для кондуктивных помех)

(3) VF-S9S-2037PM со встроенным фильтром и без него

Встроенный в инвертор фильтр значительно снижает кондуктивные помехи, исходящие от инвертора. В то время как обычные модели для снижения помех требуют подключения дополнительного фильтра, VF-S9 сам может выполнять эту функцию (только для моделей, содержащие фильтр PL –типа).

Встроенный в инвертор VF- S9 фильтр PM типа снижает шум на 10 дБмкВ в частотном диапазоне от 1 МГц до 2 МГц и в диапазоне от 8 МГц до 20 МГц. Однако, так как через конденсаторы встроенного фильтра протекают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

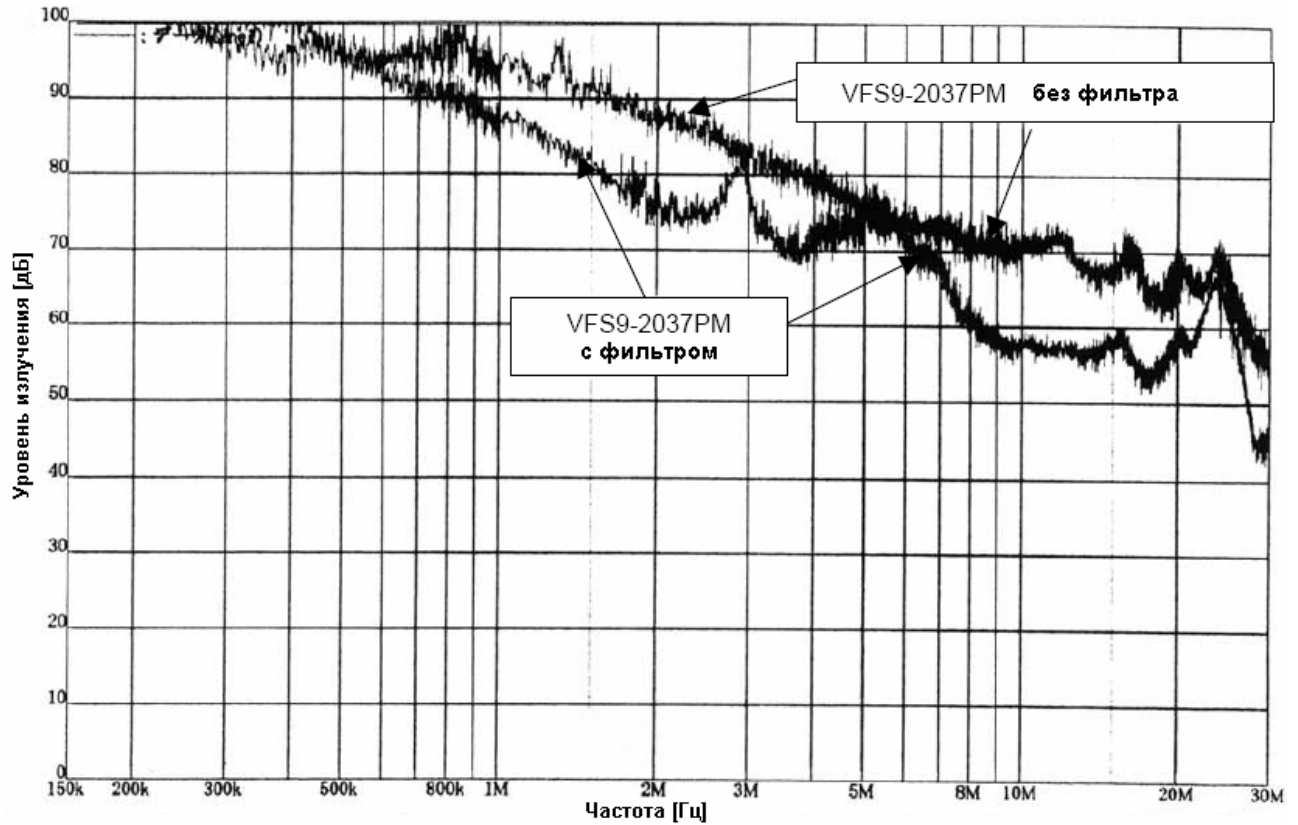


Рис.3-5. Пример эффективности встроенного фильтра VF- S9-2022PM (для кондуктивных помех)

(4) Сравнение между отдельным применением VF-S9S-2037PM и в сочетании с ЭМИ фильтром (EMFS4022DZ)

Если инвертор VF-S9, содержащий фильтр PL типа, применяется совместно с внешним ЭМИ фильтром для соответствия ЭМС директивам, может быть достигнуто еще большее подавление помех до 20 дБмкВ в частотном диапазоне от 150 кГц до 2 МГц и около 20 дБмкВ в частотном диапазоне от 2 МГц до 10 МГц. Однако, так как при подключении ЭМИ фильтра возрастают токи утечки, увеличьте ток срабатывания автомата защиты от утечки «на землю» (ELCB).

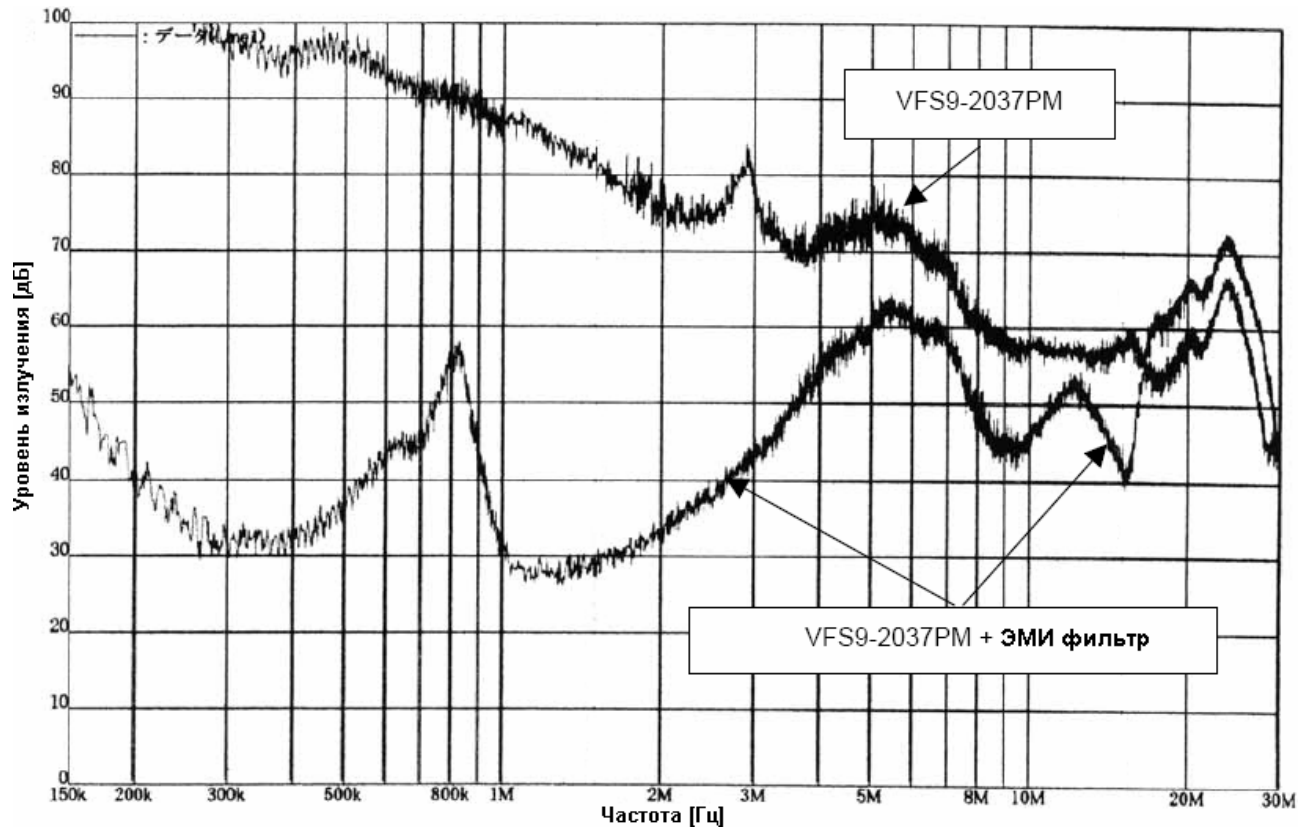


Рис.3-6. Пример эффективности подключения ЭМИ фильтра к VF- S9-2037PM (для кондуктивных помех)

3.1.3. Эффективность индуктивного фильтра

На рис.3-7 показана разница в излучаемом шуме на выходе инвертора с индуктивным фильтром и без него (нуль-фазный реактор модель F11080GB, 4 витка). При подключении индуктивного фильтра уровень помех снижается на 5 дБмкВ/м в частотных диапазонах 30~40 МГц и 55~60 МГц.

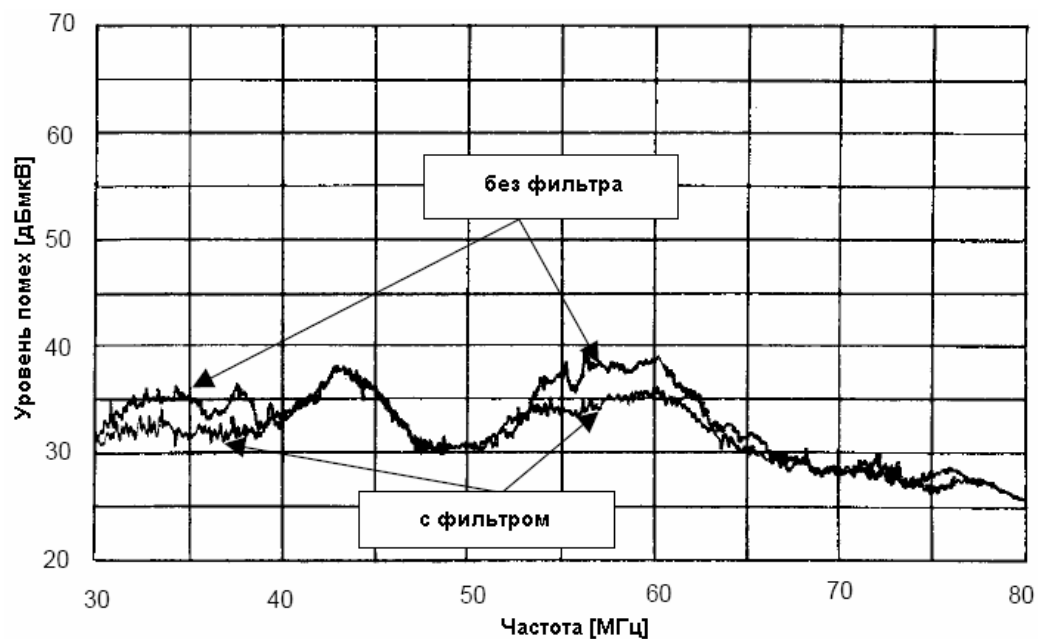


Рис.3-7. Разница в излучаемом шуме на выходе инвертора VFS9-2022PL с индуктивным фильтром и без него

3.2. Эффект снижения несущей частоты ШИМ

Шум инвертора (кондуктивный и излучение) может быть снижен при помощи снижения несущей частоты ШИМ. Так, снижение несущей частоты ШИМ с 12кГц до 2кГц позволяет снизить уровень кондуктивных помех примерно на 10дБмкВ в частотном диапазоне от 150кГц до 30МГц, а уровень помех излучения примерно на 5дБмкВ в частотном диапазоне от 30МГц до 65МГц. Однако, снижение несущей частоты ШИМ усиливает шум, производимый двигателем.

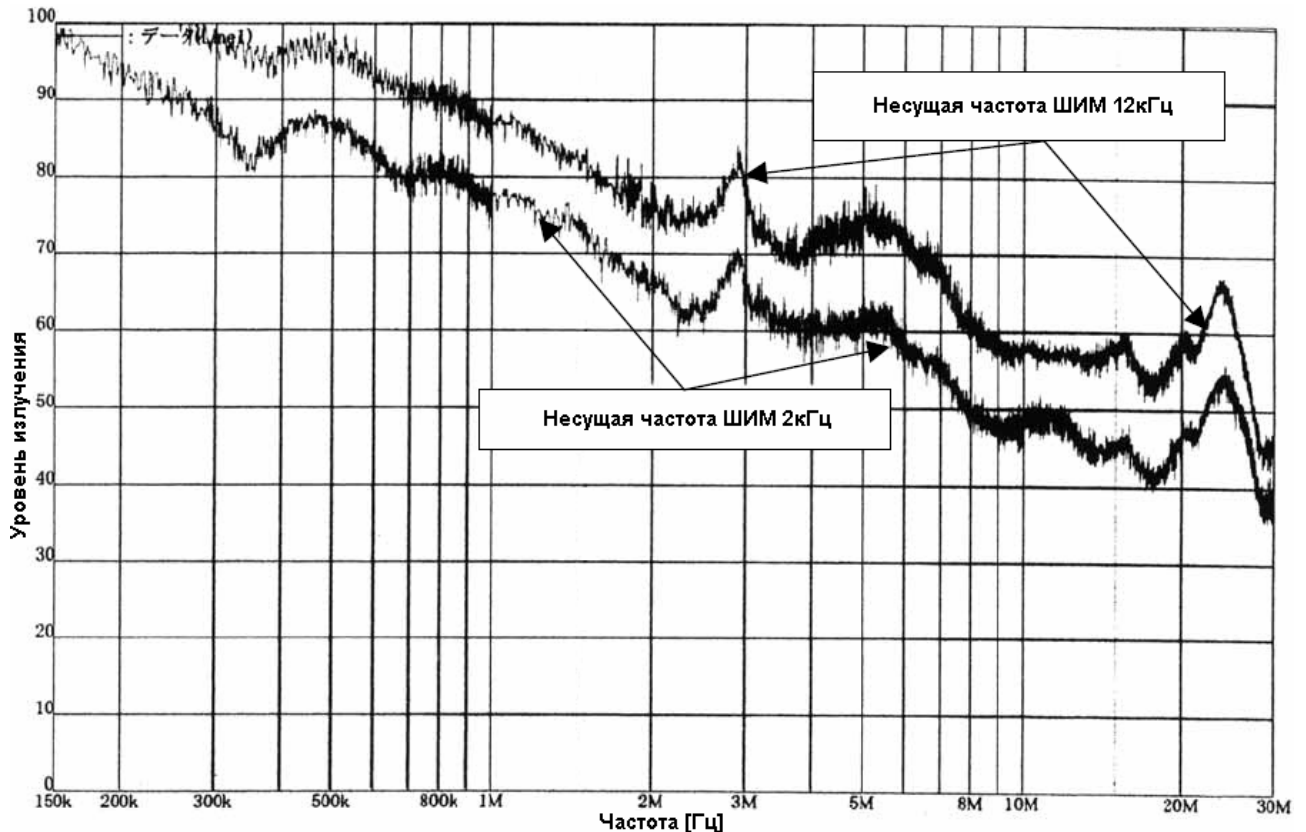


Рис. 3-8. Разница уровней кондуктивных помех в зависимости от несущей частоты ШИМ (VFS9-2037PM).

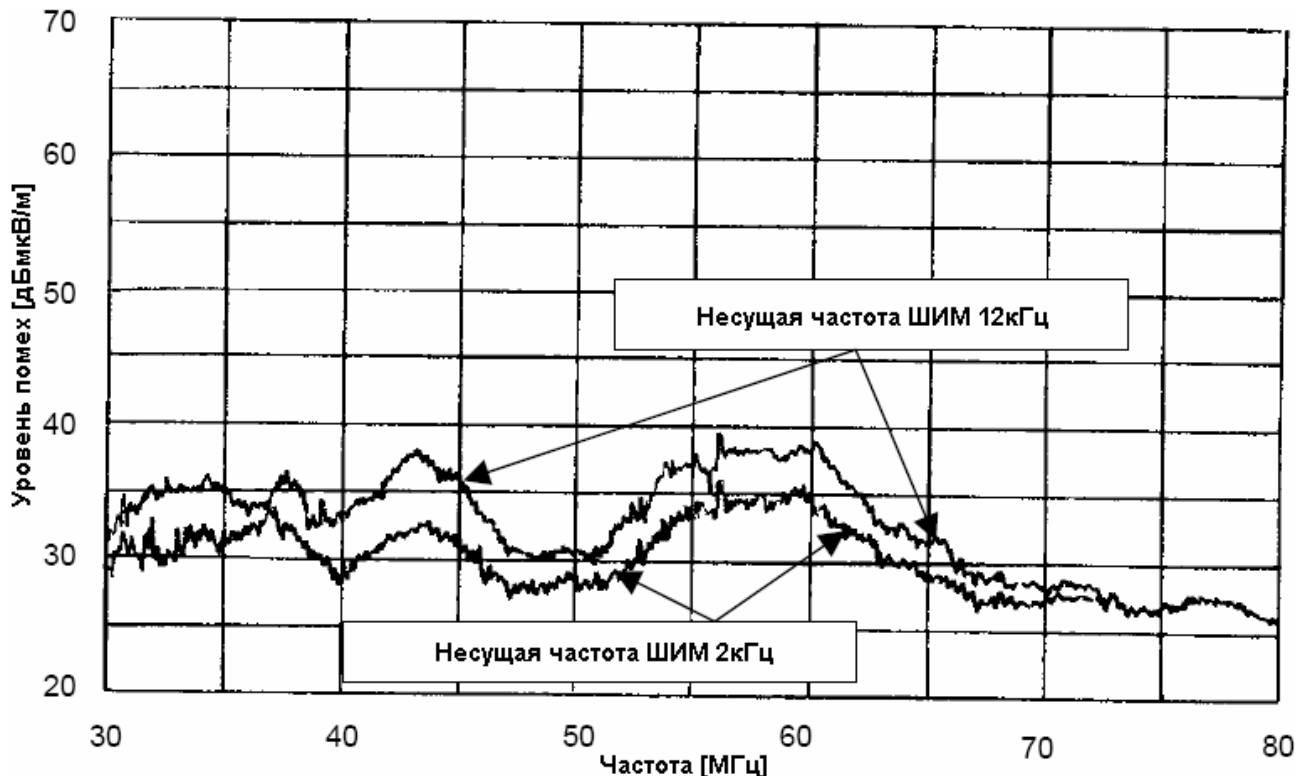


Рис. 3-9. Разница уровней помех излучения в зависимости от несущей частоты ШИМ (VFS9-2037PL).

3.3. Эффект экранирования выходного кабеля

При использовании экранированного выходного кабеля излучаемые помехи могут быть снижены при заземлении экрана кабеля.

Электрическое заземление экрана, однако, не вносит существенной разницы в уровне кондуктивных помех. В то же время помехи излучения подавляются как минимум на 5дБмкВ/м в частотном диапазоне от 30МГц до 40МГц и от 65МГц до 75МГц.

Учтите, что при использовании экранированного кабеля возрастают токи утечки, которые могут вызвать срабатывание автомата защиты от утечек (ELCB).

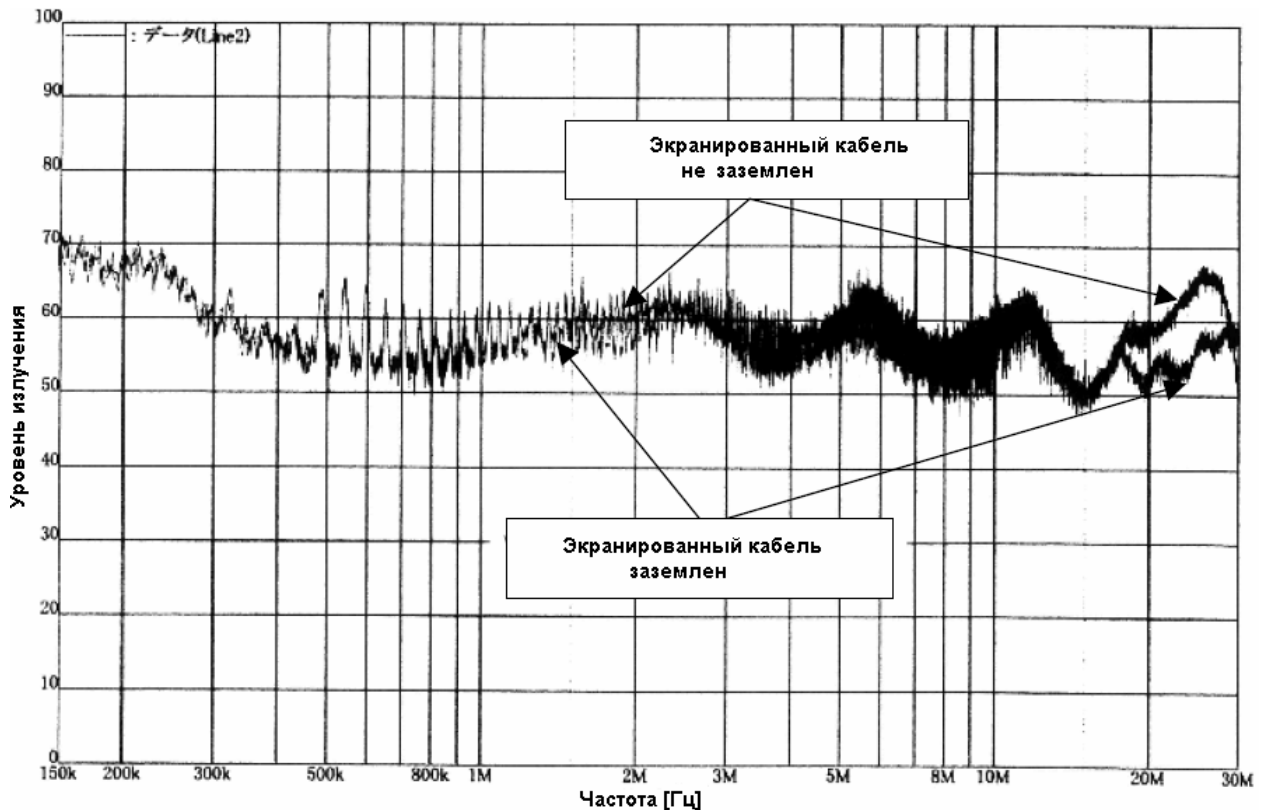


Рис. 3-10. Разница уровней кондуктивных помех в зависимости от экранирования и электрического заземления выходного кабеля (VFS9-2022PL).

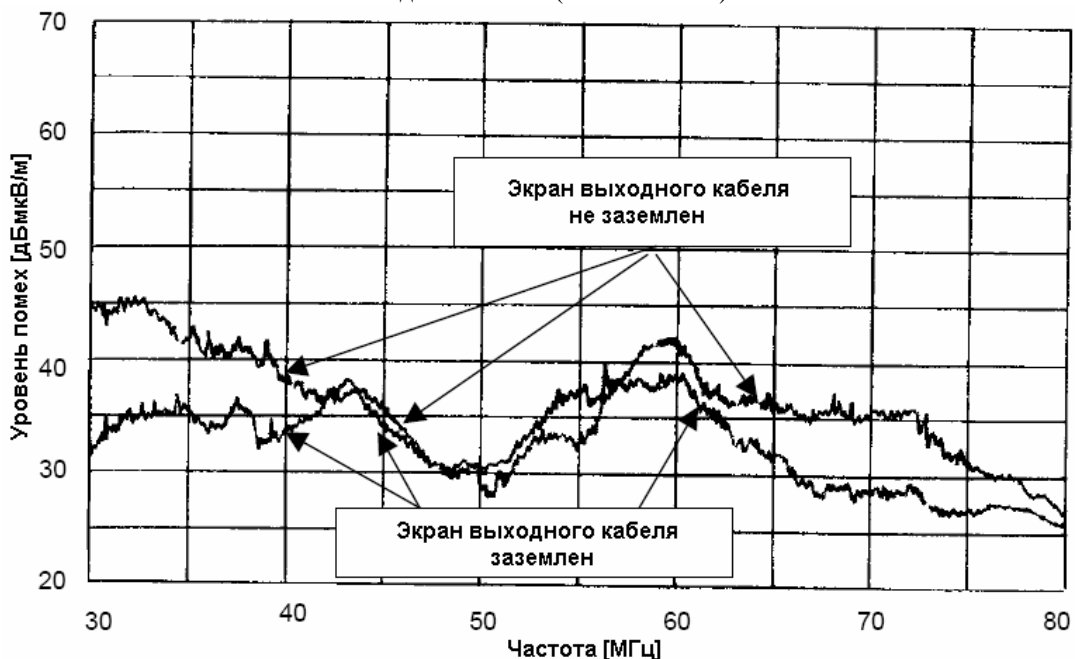


Рис. 3-10. Разница уровней помех излучения в зависимости от экранирования и электрического заземления выходного кабеля (VFS9-2022PL).