

Геннадий Бандура | support@macrogroup.ru

Высокоэффективный источник питания мощностью 150 Вт с корректором коэффициента мощности для уличного светодиодного осветителя

Мощный, надежный и высокоэффективный источник питания зачастую является одной из самых важных и ценнообразующих составляющих светодиодного светильника. Построение такого устройства на дискретных элементах приведет к тому, что решение будет иметь большие массо-габаритные показатели и высокую стоимость. Однако есть и другой способ реализации такого источника питания — использование интегрального решения. Пример такого решения — контроллер семейства HiPerPLC от Power Integrations. HiPerPLC — это комбинированный ККМ (PFC, Power Factor Corrector — корректор коэффициента мощности) и LLC-контроллер с интегрированным высоковольтным полумостовым драйвером. ККМ контроллера HiPerPLC работает в широ-

ком диапазоне входных напряжений. Преобразователь работает по резонансной LLC-технологии. Контроллер с переменной рабочей частотой обеспечивает высокий уровень КПД во всем диапазоне нагрузок, а благодаря коммутации MOSFET-ключа (в моменты перехода через нулевое напряжение (даже при работе без нагрузки) исключает потери на переключение. В данной статье мы рассмотрим преобразователь на основе HiPerPLC под 150-Вт источник питания с входным напряжением 230 В AC для уличного светодиодного светильника (рис. 1). Основной преобразователь является контроллер PLC810PG, схема включает в себя 2 ступени — ступень PFC (работает в режиме без разрыва тока основного дросселя) и ступень резонансного полумоста (LLC).



Рис. 1. Внешний вид источника питания

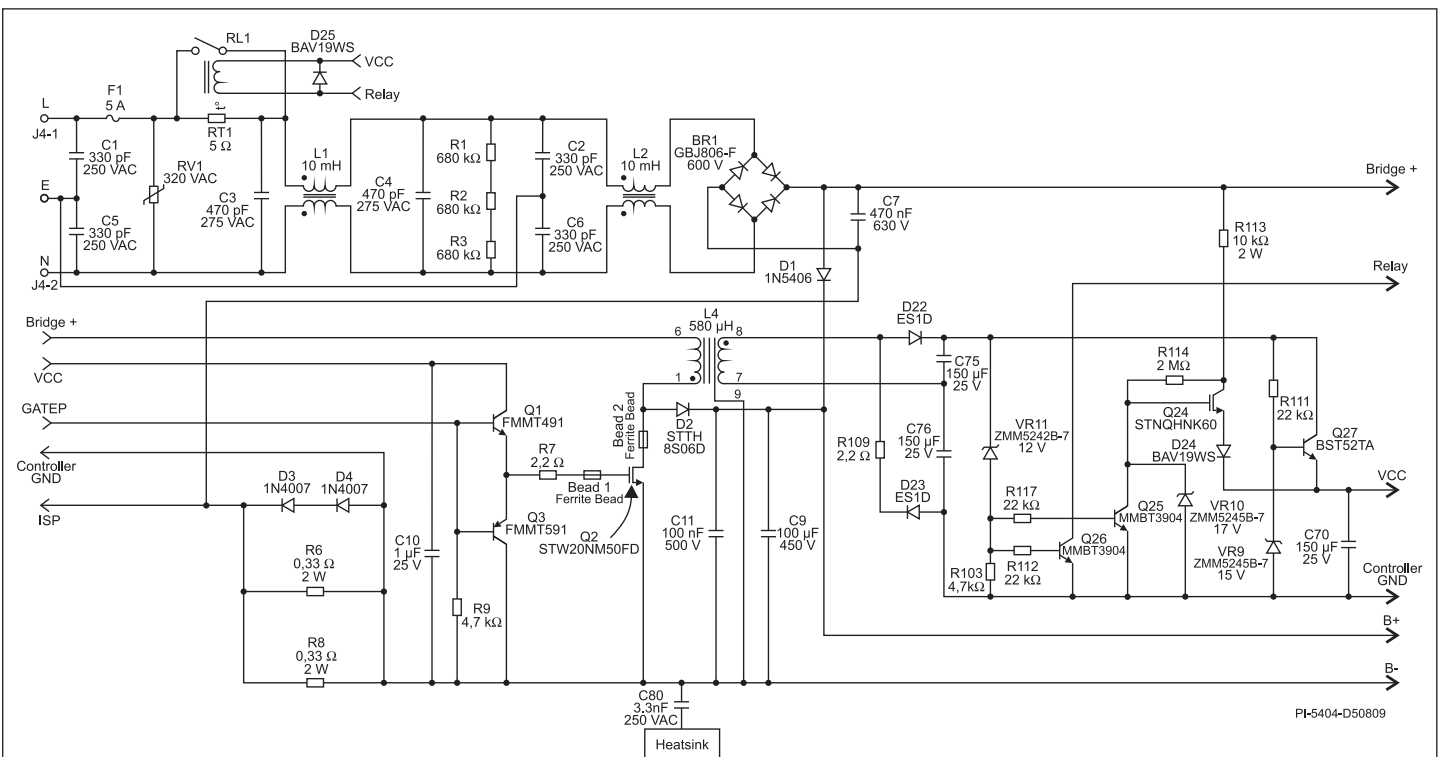


Рис. 2. Схема источника питания — входная цепь и ступень PFC

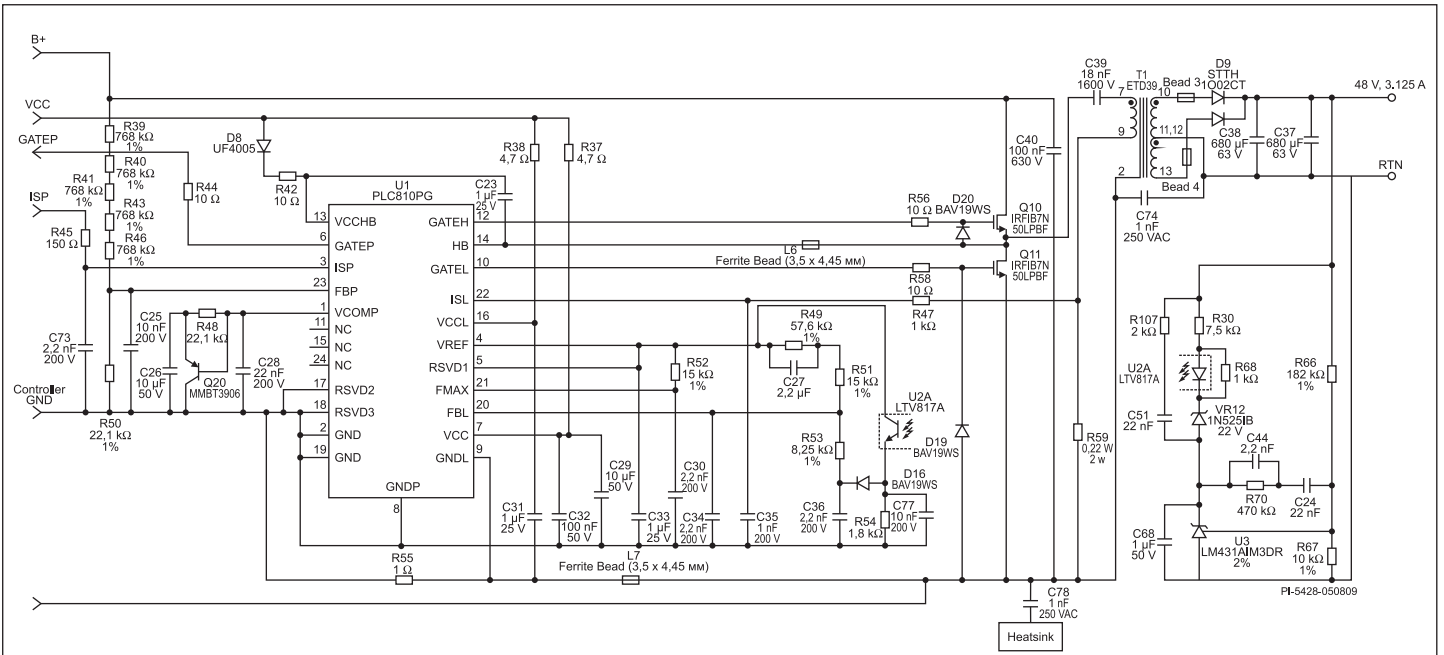


Рис. 3. Схема источника питания — ступень PFC, цепи контроля, ступень LLC

На рис. 2 приведена схема, включающая в себя входной ЭМИ-фильтр, основную ступень PFC и вспомогательную цепь запуска/питания.

Фильтрация ЭМИ

Конденсаторы C1 и C5 подключены напрямую от фазы и нейтрали на землю и служат для контроля шумов на частотах выше 30 МГц; дроссели L1 и L2 служат для контроля за ЭМИ на средних и низких частотах (<10 МГц); конденсаторы C2 и C6 — для контроля за резонансными выбросами в средней полосе частот.

Дроссель PFC (L4) имеет заземленный экран для предотвращения электрической и магнитной связи с компонентами ЭМИ-фильтра. Емкости C3 и C4 обеспечивают фильтрацию дифференциальных помех. Для обеспечения требуемой степени безопасности резисторы R1, R2 и R3 разряжают данные конденсаторы при снятии входного напряжения. Чтобы не сделать радиатор источником наведенных помех на шасси заземления, радиатор PFC-ключа FET Q2 и выходной диод D2 подключены к катоду D3 через конденсатор C80.

Таблица 1. Параметры источника питания

Описание	Обозначение	Минимум	Норма	Максимум
Вход				
Напряжение, В AC	V_{in}	140		265
Частота, Гц	F_{line}	47	50/60	64
Коэффициент мощности	PF	0,97		
Выход				
Напряжение, В	V_{out}	45,6	48	50,4
Нестабильность, мВ p-p	V_{ripple}	0,05	3,13	150
Ток, А	I_{out}			3,13
Выходная мощность, Вт	P_{out}		150	
КПД, %	η	91/92		
Наведенные ЭМИ. Класс безопасности		CISPR22B / EN55022B IEC950 / UL1950 Class II		
Температура окружающей среды, °C	T_{amb}	0		60

Ограничение стартового тока

Ограничение стартового тока обеспечивается термистором RT1, он шунтируется реле RL1 при штатном режиме работы, обеспечивая увеличение КПД на 1–1,5%.

Ступень PFC

Корректор коэффициента мощности, работающий в режиме без разрыва тока основного дросселя, состоит из C9, C11, L4, Q2, D2. Компоненты Q1, Q3, R7, R9 служат буфером сигналу ШИМ-управления для ключа Q2 от контроллера PLC810. Резистор R7 позволяет оптимизировать время записания Q2. Опытным путем установлено, что параметры КПД и ЭМИ улучшаются при снижении номинала R7 и добавлении ферритовых колечек на затвор и сток Q2. При этом нужно помнить, что при увеличении тока включения MOSFET-транзистора мы уменьшаем потери на переключение, однако при этом возрастает и ток через D2 (диод класса Ultra fast) и связанный с ним «дребезг». Использование дорогих компонентов позволит поднять КПД, но при этом существенно увеличит стоимость устройства.

В качестве ключа Q2 для увеличения КПД был выбран MOSFET-транзистор 220 МОм, 500 В, корпус TO-247 был выбран для лучшей теплоотдачи.

Сенсорным элементом ступени PFC являются компоненты R6 и R8. Для защиты входа контроллера в аварийных условиях напряжение ограничивается двумя диодами D3 и D4. Как только подано входное напряжение, выходной конденсатор PFC (C9) заряжается через диод D1, перенаправляя стартовый ток через дроссель PFC-L4 и защищая его от насыщения и перегрузки компонентов Q2 и D2. Конденсатор C11 подавляет высокочастотную составляющую на компонентах Q2, D2, C9 для снижения ЭМИ. Входное переменное напряжение выпрямляется компонентом BR1 и фильтруется емкостью C7 (класс low-loss полипропиленового типа с малыми потерями и низким сопротивлением). Этот конденсатор обеспечивает постоянный ток через L4 при открытом ключе Q2.

Вспомогательный источник питания, запуск схемы

Компоненты D22, D23, C75, R109 работают как удвоитель напряжения для выпрямления и фильтрации напряжения с вспомогательной обмотки питания на L4, обеспечивая независимое от входного напряжения вспомогательное питание.

Компоненты Q24, Q25, Q27, VR9, VR10, VR11, D24, C70, R103, R111, R113, R114 и R117 составляют вспомогательный стабилизатор и несут функцию запуска. Для обеспечения вспомогательного напряжения, запускающего U1, через резистор R113 и транзистор Q24 заряжается емкость C70. Выходное напряжение Q24 ограничивается VR10. Транзистор Q25 шунтирует стартовую цепь при начале работы схемы в штатном режиме. Транзистор Дарлингтона Q27, R111 и VR9 формируют простой стаби-

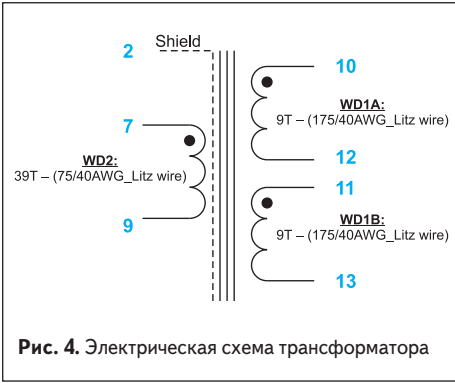


Рис. 4. Электрическая схема трансформатора

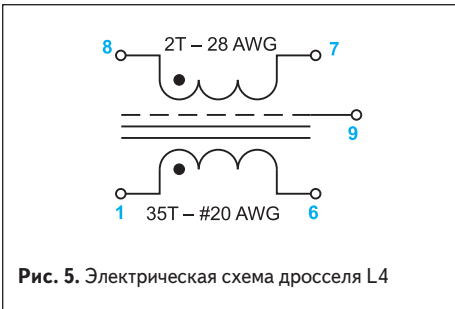


Рис. 5. Электрическая схема дросселя L4

лизатор напряжения. Также, при начале работы схемы в штатном режиме, Q26 включает RL1, тем самым «закорачивая» термистор RT1.

Ступень LLC

Вход ступени LLC

MOSFET-транзисторы Q10 и Q11 — это ключи LLC-конвертера. Они управляются напрямую контроллером через резисторы R56 и R58. Конденсатор C39 — первичный резонансный конденсатор, который должен обладать минимальными потерями. C40 используется для локального шунтирования и должен быть расположен в непосредственной близости от Q10 и Q11. Резистор R59 обеспечивает измерение тока первичной обмотки для защиты от перегрузки.

Таблица 2. Спецификация на трансформатор

Электрическая прочность	60 с, 60 Гц, с выводов 1–9 на выводы 10–18	3000 В AC
Индуктивность первичной обмотки	Выводы 7–9, остальные обмотки разомкнуты, 100 кГц, 0,4 VRMS	820 мкГн ± 10%
Резонансная частота	Выводы 7–9, остальные обмотки разомкнуты	700 кГц
Индукция рассеяния первичной обмотки	Выводы 7–9, выводы 10–18 замкнуты, 100 кГц, 0,4 VRMS	100 мкГн ± 10%

Таблица 3. Спецификация на дроссель

Индуктивность	Выводы 1–6, 100 кГц, 0,4 VRMS	580 мкГн ± 10
---------------	-------------------------------	---------------

Таблица 4. Характеристики силового преобразователя

Входное напряжение, В AC, 60 Гц	230
Выходная мощность, Вт	150,2
Входная мощность, Вт	162,6
КПД, %	92,37
Выходной ток при 48 В, А	3,13
Температура окружающей среды, °C	21
LLC-выпрямитель, пластиковый корпус (D9)	48
LLC верхний MOSFET (Q10), пластиковый корпус	43
LLC нижний MOSFET (Q11), пластиковый корпус	45
PFC-диод, пластиковый (D2)	41
PFC-MOSFET, пластиковый (Q2)	39
Мостовой выпрямитель, пластиковый (BR1)	43
LLC-трансформатор (T2), поверхность	49
PFC-дроссель (L4), поверхность	43

Выход ступени LLC

Для обеспечения выхода +48 В сигнал со вторичной обмотки T1 выпрямляется и фильтруется элементами D9, C37-38.

Контроллер

На рис. 3 приведена цепь контроллера U1, который обеспечивает контроль ступеней PFC и LLC.

Контроль ступени PFC

Выходное напряжение ступени PFC контролируется выводом FBP микросхемы U13. Напряжение подается на FBP через компоненты R39–41, R43, R46, и R50. Конденсатор C25 фильтрует шум. Компоненты C26, C28 и R48 обеспечивают частотную компенсацию PFC. Q20 включается при больших отклонениях сигнала, шунтируя C26. Это позволяет обеспечить быструю реак-

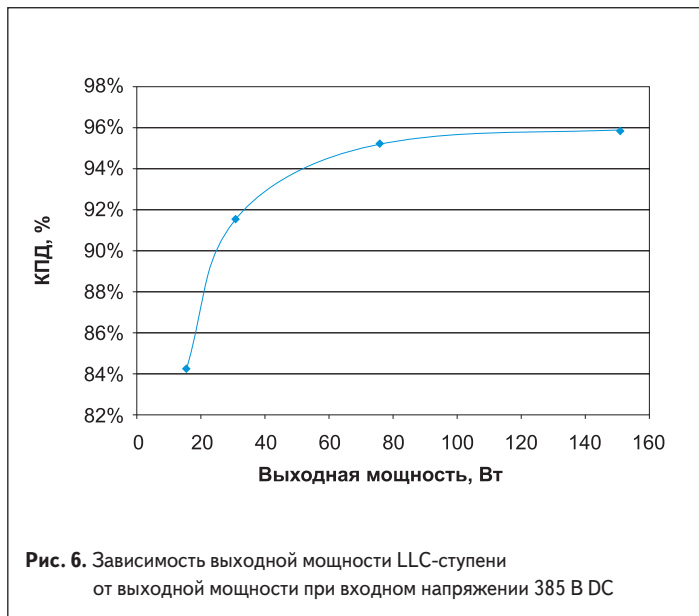


Рис. 6. Зависимость выходной мощности LLC-ступени от выходной мощности при входном напряжении 385 В DC

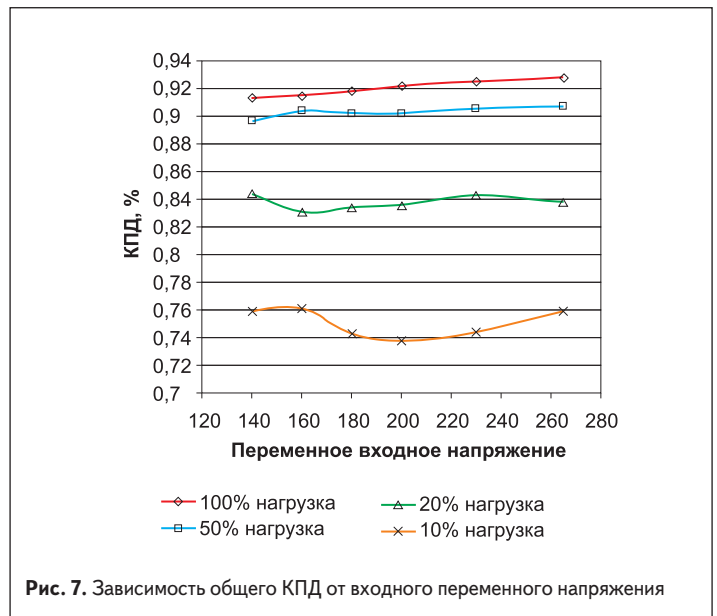


Рис. 7. Зависимость общего КПД от входного переменного напряжения

цию цепи ОС на сильное изменение нагрузки. Токвые сигналы с резисторов R6 и R8 фильтруются элементами R45 и C73. Сигнал управления затвором ступени PFC с вывода GATEP перенаправляется на основной ключ через R44. За счет этого подавляются все шумы на фоне управляющего сигнала, которые обусловлены длиной дорожки от U1 до Q2.

Шунтирование/изоляция

Емкости C29, C31, C32 обеспечивают сглаживание цифрового и аналогового питания для U1. Резистор R5 и ферритовое колечко L7 обеспечивают изоляцию между выводами «земля» PFC и LLC-ступенями. Резисторы R37 и R38 изолируют нестабильность напряжения аналогового и цифрового питания. Ферритовое колечко L6 обеспечивает ВЧ-изоляцию между верхним MOSFET-транзистором ступени LLC и контроллером.

Контроль ступени LLC

Обратная связь ступени заводится с R54 через U2. Конденсатор C77 фильтрует сигнал обратной связи. Резисторы R49, R51, R53 устанавливают нижний частотный предел ступени

LLC. C27 используется для обеспечения мягкого старта, резистор R52 устанавливает верхний частотный предел ступени LLC. Емкости C30 и C36 — фильтры помех. Сигнал перегрузки заводится с R59 и фильтруется компонентами R47 и C35. Резисторы R52 и R53 были подобраны для того, чтобы заставить LLC-конвертер работать в режиме burst mode при малой/нулевой нагрузке, защищая выход от перенапряжения.

Ни один импульсный преобразователь не обходится без моточных элементов. В нашем случае — это основной трансформатор ступени LLC (T1) (рис. 4) и дроссель (рис. 5) ступени PFC (L4).

Приведем несколько графиков, характеризующих работу преобразователя.

Ступень LLC была запитана от отдельного внешнего источника 385 В DC через емкость C9 (рис. 6).

Видно, что очень высокий КПД ступени LLC (рис. 7) отражается на общем КПД системы в широком диапазоне входных напряжений, что делает ее прекрасной для применения в системах, где энергетическая эффективность очень важна.

Замеры осуществлялись с помощью термопар, присоединенных к корпусам элементов с помощью медной ленты. Целью разработки надежного с точки зрения тепловых режимов (рис. 8) источника питания является поддержка температуры компонентов ниже 100 °C при полной нагрузке во всем разрешенном температурном рабочем диапазоне. Данный преобразователь прекрасно справляется с этой задачей.

Тесты на уровень наведенных ЭМИ проводились на резистивной нагрузке 16 Ом при выходном напряжении 48 В. Как видно из графика (рис. 9), уровень ЭМИ гораздо ниже требуемых стандартами пределов, что подтверждает его соответствие стандартам CISPR22B / EN55022B.

Из анализа приведенных характеристик можно сделать вывод: будущее за силовыми преобразователями для светодиодных светильников на основе интегральных решений, которые обладают прекрасными характеристиками, меньшими массо-габаритными показателями и более низкой ценой по сравнению с их аналогами, собранными на дискретных компонентах.

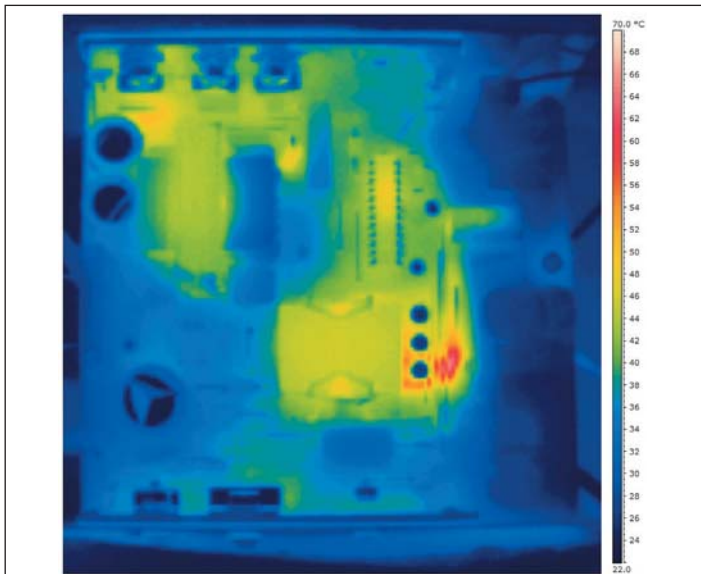


Рис. 8. Теплограмма источника питания (230 В AC, 60 Гц, 150 Вт/вых)

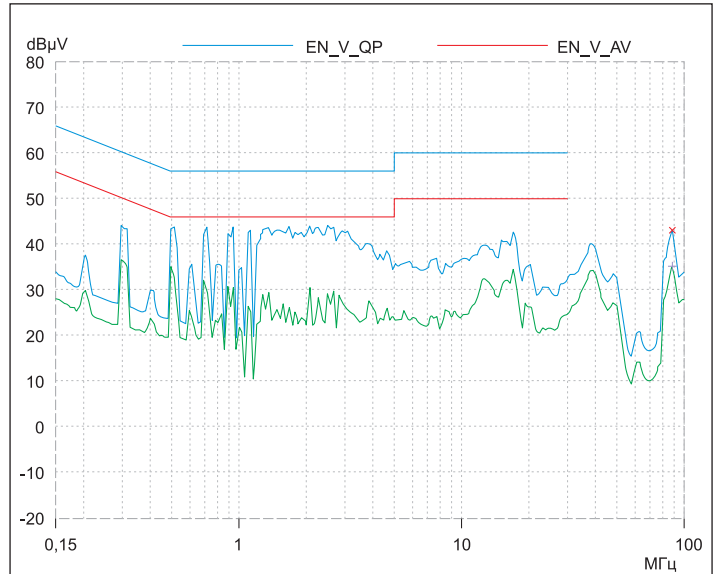


Рис. 9. Уровень наведенных ЭМИ (U_{вх} = 230 В AC)