

МАСКА СВАРЩИКА

С АВТОМАТИЧЕСКИМ ЖК-ЗАТВОРОМ

А.Самарин



Автоматический ЖК-затвор на маске сварщика не только защищает глаза и кожу лица от УФ- и ИК-излучения при любом режиме сварки, но и позволяет контролировать качество сварочного шва. Затвор содержит электронную систему управления оптической плотностью динамического фильтра и солнечные батареи. Вставляется в маску, как кассета. Маска с ЖК-затвором имеет малую массу и удобна в пользовании.

Известно, что при проведении сварочных работ сварщик должен защищать глаза и кожу лица с помощью специальной маски. Опасность для зрения представляют УФ- и ИК-излучения с высокими уровнями энергии в спектре излучения электрической дуги, а также видимая часть спектра. В процессе зажигания дуги при любом фоне освещенности возникает резкий скачок уровня яркости в зоне сварки. Если глаза не защитить светофильтром, ослабляющим световой поток, то вследствие большой инерционности аккомодационного механизма зрительной системы сетчатка глаза успеет получить большую дозу излучения (словить “зайчика”) и часть ее сенсорных элементов повредится. В результате ослепления некоторое время будет наблюдаться частичная потеря зрения, нарушение цветовосприятия, воспаление слизистой оболочки глаза. При повторяемости этих процессов может наступить серьезное повреждение зрения. Большие мощности излучения в УФ- и ИК-диапазонах вредно воздействуют также на незащищенные участки кожи лица и шеи, вызывая иногда кожные заболевания. Допустимые пороговые уровни мощности УФ- и ИК-излучения регламентированы специальными нормативными документами.

Широко используемая в настоящее время фибровая маска содержит набор сменных светофильтров из стекла марки ТС-ЗС с коэффициентом пропускания от 0,224 до $1,4 \cdot 10^{-5}$ % для каждого вида сварочных работ. Принцип работы с такой маской прост. С откинутой маской сварщик проводит подготовительные работы, затем производит поджигание электрической дуги и уж после этого опускает маску. Тут-то и может произойти поражение зрения. Неудобно еще и то, что сварщик вынужден постоянно откидывать маску,



Рис.1. Внешний вид маски сварщика фирмы OPTREL с автоматическим ЖК-затвором

чтобы проконтролировать шов или просто подышать воздухом. Ведь конструкция маски такова, что все газовые продукты горения попадают под нее.

Идея использовать в маске сварщика динамический затвор возникла несколько десятков лет назад. Первые динамические затворы были электромеханическими или просто механическими (пружинными). Принцип их действия аналогичен работе затвора фотоаппарата, а надежность и эффективность достаточно низка.

Более 20 лет назад появились автоматические затворы на основе быстродействующих ЖК-модуляторов, которые иногда называют “хамелеон”. Автоматический затвор позволяет освободить обе руки и сконцентрировать внимание на качестве сварки. Его использование обеспечивает сверхнадежную защиту глаз, меньшую утомляемость сварщика, комфортность, лучшую контролируемость процесса сварки и, следовательно, более высокое качество сварочного шва. В соответствии с появлением новых современных средств защиты глаз при сварке были разработаны международные проектные нормы для класса автоматических защитных фильтров – “Сварочные фильтры с изменяемым коэффициентом пропускания”.

Сейчас маски с автоматическим ЖК-затвором выпускает ряд фирм во Франции, Японии, Германии, Швеции, Швейцарии и на Тайване. Основные производители таких масок в Европе – шведская фирма ESAB (изделие AUTORAMA) и швейцарская фирма OPTREL. На рис.1 показан внешний вид маски сварщика фирмы OPTREL. Кассета с автоматическим ЖК-затвором представляет собой отдельный модуль и крепится, как правило, с передней стороны маски, образуя единую конструкцию шлема.

Начиная с 1988 года разработки автоматических ЖК-затворов, а также готовых масок на их основе проводились и в нашей стране. Уже налажен выпуск небольших партий таких масок предприятием в Сосновом Бору Ленинградской области. Основа корпуса маски – листовая фторопласт.

Как правило, современные маски с автоматическим ЖК-затвором используют дополнительные аксессуары, а именно индивидуальный носимый на поясе компрессор-регенератор. Компрессор производит забор воздуха за спиной сварщика, его очистку и через специальный шланг нагнетает под маску. Повышенное давление препятствует проникновению под маску вредных газов, сопровождающих сварку.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЖК-ЗАТВОР

Автоматический ЖК-затвор состоит из двух модулей – оптического и электронного.

Оптический модуль, или динамический фильтр (рис.2), содержит:

- защитный фильтр из поликарбоната толщиной 1,2 мм, защищающий наружные оптические поверхности от механических воздействий внешней среды, вредных газовых испарений в зоне

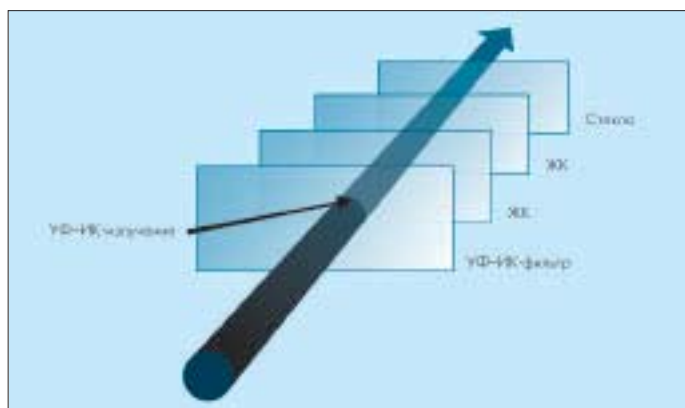


Рис.2. Структура динамического фильтра

- сварки, расплавленных капель свариваемого материала, абразивных материалов (песка, пыли);
- композитный УФ- и ИК-светофильтр;
- две или три последовательные быстродействующие ЖК-ячейки (рис.3), обеспечивающие, с одной стороны, быстрый переход из прозрачного в непрозрачное состояние, а с другой – необходимый коэффициент пропускания в видимой части спектра для выбранного режима сварки;
- защитный фильтр из поликарбоната толщиной 1,2 мм, защищающий внутреннюю поверхность триплекса от внешних воздействий.

Светофильтр ЖК-затвора обеспечивает поглощение и отражение вредного для глаз излучения от электрической дуги в ИК- и УФ-областях его спектрального диапазона. ГОСТ 12.4.080-79 регламентирует уровень допустимого пропускания в УФ-области спектра при $\lambda = 0,32$ мкм не более $1 \cdot 10^{-4}$ % для всех номеров светофильтров С1...С13. Для ИК-области спектра на длине волны 1 мкм – не более 0,1%.

Недавно разработанные международные стандарты, касающиеся индивидуальных средств защиты сварщиков, – DIN 7-13, нормы 825 CE1, рекомендации CEN – регламентируют более низкие пороговые значения для коэффициентов пропускания в УФ- и ИК-областях, чем ГОСТ 12.4.080-79. Этот ГОСТ был разработан для использования сменных стеклянных светофильтров, а новые международные стандарты регламентируют пороговые значения коэффициентов пропускания для другого класса средств защиты глаз – фильтров с регулируемой оптической плотностью. Стандарт DIN 7-13 устанавливает пороговое значение коэффициента пропускания в ИК-области (0,78–1,4 мкм) не более 10^{-2} %, а для УФ-области (0,212–0,365 мкм) – не более 10^{-5} %.

Представляем автора статьи

САМАРИН Александр Викторович. Ведущий специалист фирмы “Зелос” (Зеленоград). Окончил МИЭТ (Московский институт электронной техники). Действительный член Российского Жидкокристаллического Сообщества “Содружество” и член международной организации SID (Society for Information Display). Автор свыше 40 публикаций, семи изобретений. Сфера профессиональных интересов – телекоммуникационная аппаратура, дисплейные технологии, портативная аппаратура медицинской диагностики, портативные профессиональные дозиметры гамма-излучения, программное обеспечение для микроконтроллеров.

Как известно, УФ-излучение достаточно легко поглощается многими оптическими материалами. Чем толще пластина материала, тем больше коэффициент поглощения, но тем больше и масса пластины. Так, оптическая система динамического ЖК-затвора из двух ЖК-ячеек, в состав которых входят четыре стеклянных пластины, четыре слоя ИТО и три поляризационных пленки, обеспечивает коэффициент пропускания в УФ-области не хуже $7 \cdot 10^{-3}$ %, а в ИК-области – 2–5%. Для удовлетворения требований международных нормативов достаточно использовать в качестве материала подложек стекло специальной марки с повышенным поглощением УФ-излучения. Чтобы обеспечить малую массу динамического затвора, стеклянные подложки изготавливают толщиной 1–1,5 мм. Производимая в настоящее время поляризационная пленка имеет большой коэффициент поглощения в УФ-диапазоне, что позволяет решить задачу фильтрации УФ-излучения до требуемого уровня.

В ИК-диапазоне излучения электрической дуги содержится основная по мощности часть лучистой энергии, поэтому если использовать ИК-фильтр поглощающего типа, будет происходить сильное нагревание самого фильтра и всего динамического ЖК-затвора. К тому же, чтобы уложиться в регламентируемые значения коэффициента пропускания, необходим цветной ИК-светофильтр большой толщины. Однако толщина конструкции композитного светофильтра должна быть достаточно малой, чтобы обеспечить регламентиро-

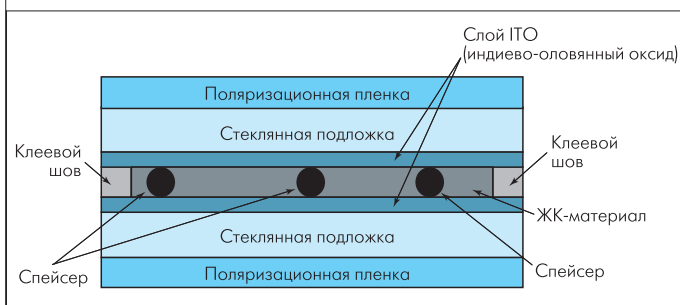


Рис.3. Конструкция ЖК-ячейки

ванную массу. Поэтому в конструкциях динамических ЖК-затворов применяются ИК-отражательные фильтры на основе композитных интерференционных пленочных покрытий. Как правило, композитная пленка состоит из чередующихся слоев тонких пленок металла (Ag) и оксидных пленок (SiO_2 или In_2O_3). Селективность и коэффициент отражения ИК-излучения пропорциональны числу слоев. Для получения качественных интерференционных фильтров с коэффициентом отражения 90–95% число двойных слоев должно быть от 8 до 12. С внешней стороны рабочее окно динамического затвора имеет благодаря интерференционным пленкам золотисто-зеленый или золотисто-красный цвет. В качестве подложки для композитного ИК–УФ-фильтра используется спецстекло марки СЗС21.

Электронный модуль содержит:

- два фотодатчика (по одному с левой и правой сторон кассеты ЖК-затвора) и усилитель сигналов с них;
- схему управления двумя ЖК-модуляторами;
- микроконтроллер, обеспечивающий выбор режима работы затвора (коэффициент пропускания в закрытом состоянии), сопряжение с фотодатчиками, индикацию на ЖК-дисплее выбранного сварщиком режима сварки и формирование диаграммы для схемы управления ЖК-модуляторами;
- солнечные батареи из девяти и более секций солнечных элементов на основе аморфного кремния, обеспечивающие напряжение от 4,5 и до 8 В и ток в рабочем режиме (присутствует излучение от электрической дуги) до 2–3 мА;

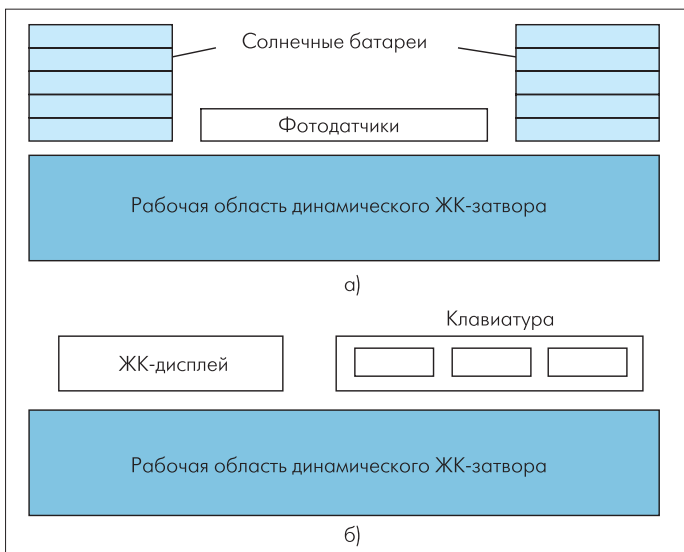


Рис.4. Структурная схема кассеты автоматического ЖК-затвора:
а) вид спереди; б) вид изнутри маски

- резервный источник на литиевой батарее 3 В, конденсаторе большой емкости с малыми токами утечки или на подзаряжаемом от солнечной батареи аккумуляторном элементе;
- функциональную кнопочную клавиатуру (3–4 кнопки), как правило, мембранного типа;
- кодирующее устройство или переменный резистор для регулировки оптической плотности (уровня защиты).

Основные требования к ЖК-затвору:

- высокое быстродействие изменения оптической плотности фильтра. Необходимо в основном для электродуговых режимов сварки, где уровни излучения во всех областях спектра достаточно высокие и в момент поджигания дуги наблюдается сильнейший скачок изменения яркости, который и представляет опасность для зрительной системы. Исследования показали, что для гарантированной защиты глаз от такого светового импульса необходимо обеспечить определенную крутизну изменения оптической плотности фильтра во времени, соответствующую быстродействию ЖК-модулятора на уровне 1–2 мс. У современных ЖК-затворов показатели быстродействия еще лучше. Быстродействие работы ЖК-ячейки обеспечивается за счет малой толщины ее зазора (3–5 мкм), быстродействия ЖК-материала (из-за малой вязкости), форсирования напряжения при включении ячейки;
- широкий диапазон изменения оптической плотности (от 4 до 11–13). Достигается, во-первых, за счет использования поляризационных пленок с высокой степенью поляризации – до 99,99% (!). Теоретически это должно дать изменение оптической плотности до четырех порядков (1:10000), однако в реальности поляризация самого ЖК-материала не достигает 100%. К тому же, чтобы реализовать максимальную степень поляризации, необходимо обеспечить идеальную взаимную ориентацию поляризаций двух поляризационных пленок (верхней и нижней) на 90°. Любое рассовмещение будет уменьшать требуемый диапазон. Во-вторых, расширить диапазон изменения оптической плотности можно использованием в оптической системе двух или трех последовательных ЖК-ячеек. Фактором, отрицательно влияющим на динамический диапазон изменения оптической плотности ЖК-модулятора, является то, что для достижения большего быстродействия требуется уменьшать толщину рабочего зазора. Но чем меньше толщина слоя ЖК-материала, тем хуже реализуются его поляризационные свойства;
- безопасность для глаз;

- возможность работы при отказе электронного блока;
- достаточный коэффициент пропускания в открытом состоянии;
- равномерность оптических характеристик (быстродействия и коэффициента пропускания) по всей рабочей зоне затвора (105x5 мм);
- малая масса. В новых международных стандартах регламентирована максимальная масса маски с кассетой затвора – не более 500 г. Конструкция крепления маски на голове обеспечивает сбалансированную нагрузку на шейные мышцы, тем самым обеспечивая комфортность оператору;
- большой рабочий угол обзора.

На рис.4 представлена структурная схема кассеты автоматического ЖК-затвора.

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ ЖК-ЗАТВОРОМ

Степень сложности схемы управления автоматическим ЖК-затвором определяется классом и стоимостью маски сварщика. В простых и недорогих моделях с низким быстродействием ЖК-затвора (10–20 мс), как правило, нет ни микроконтроллера, ни ЖК-дисплея, ни функциональной клавиатуры. Питание схемы управления производится от батареи 9–12 В (типа “Крона”), включение и выключение питания – ручным выключателем. Регулировка уровня защиты в таких простых приборах устанавливается вручную переменным резистором.

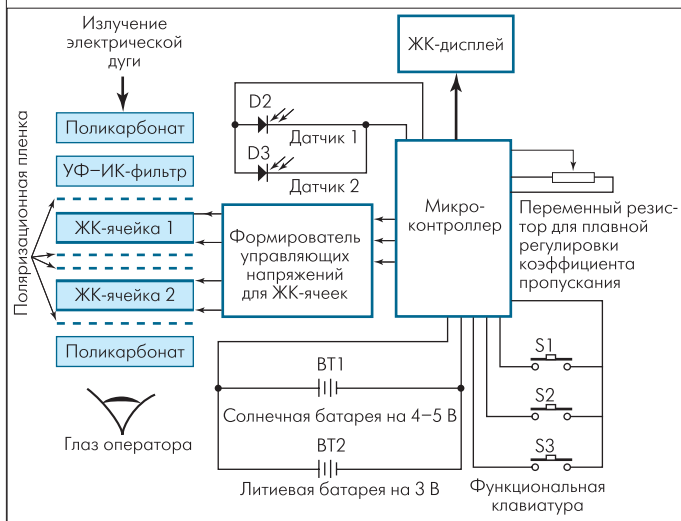


Рис.5. Схема управления автоматическим ЖК-затвором

В моделях дорогих (400–500 долл.) масок сварщика, которые, естественно, обладают несравненно лучшими характеристиками по быстродействию и широком диапазоном уровней защиты, схема управления обеспечивает и расширенный сервис функций:

- автоматическое включение и выключение питания от резервного источника;
- установление присутствия оператора с помощью сторожевого датчика;
- выбор режимов сварки и защиты с помощью функциональной клавиатуры и дисплея;
- фиксацию включения газовой горелки или электродной дуги на любом фоне освещенности с помощью быстродействующего датчика;
- микроконтроллерное управление (микротоковый режим потребления);
- интеллектуальное независимое управление генерацией управляющих сигналов для каждой из ЖК-ячеек затвора, обеспечивающее требуемую динамику изменения оптической плотности светофильтра, комфорт для глаз оператора и гарантию его безопасности.



Один из вариантов схемы управления автоматическим ЖК-затвором маски сварщика показан на рис.5.

ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ЖК-ЗАТВОРОМ

В соответствии с требованиями по безопасности применения автоматических затворов оптическая система динамического затвора должна обеспечивать защиту глаз даже при повреждении и полном отказе электронного блока. Для этого, например при использовании двухступенчатого фильтра, ориентация поляризационных пленок выбирается таким образом, чтобы в неактивном состоянии (без питания) одна ячейка имела максимальный коэффициент пропускания, а вторая, наоборот, — минимальный. В таком случае получаем средний уровень защиты, и неработающая автоматика затвора позволяет проводить сварку так же, как с постоянным светофильтром.

При включении питания контроллера (когда сторожевой датчик обнаруживает присутствие оператора) темная ЖК-ячейка переводится в светлое состояние. Затвор обеспечивает максимальное пропускание и готов к работе. Для надежной фиксации резкого перепада яркости используются два или три фотодатчика, причем, чтобы обеспечить защиту от артефактов и в то же время — быструю реакцию на реальную вспышку дуги, используется комплекс датчиков в ИК- и УФ-диапазоне.

После фиксации вспышки дуги микроконтроллер включает формирователи высоковольтных импульсов, которые обеспечивают форсированное включение и перевод в темное состояние обеих ЖК-ячеек затвора (зона А на рис.6) за 1–2 мкс. Повышенное напряжение требуется только в момент включения. Далее, после некоторой задержки (в несколько миллисекунд), необходимой для комфортной адаптации глаза, в соответствии с заданным режимом сварки изменяется оптическая плотность обоих фильтров (зона В на рис.6). Ее регулировка производится изменением (уменьшением) эффективных напряжений, действующих на обкладках ЖК-ячеек. Управление эффективным напряжением производится изменением сдвига фаз управляющих сигналов (меандров), подаваемых на ЖК-ячейки с выходов формирователей. Вычисление и сдвиг фаз осуществляет микроконтроллер.

После фиксации выключения дуги микроконтроллер производит интегральную оценку освещенности. Выключение дуги может сопровождаться отдельными вспышками, да и сама раскаленная поверхность металла даже в отсутствие электрической дуги еще некоторое время остается сильным источником излучения в ИК- и видимом участках спектра. Поэтому для лучшей релаксации зрения микроконтроллер обеспечивает плавное “осветление” светофильтра в течение нескольких сот миллисекунд (зона D). При отсутствии в ближайшей зоне оператора микроконтроллер погружается в режим покоя (зона Е).

В процессе горения электрической дуги (или плазменной горелки) питание схемы осуществляется от солнечной батареи, которая

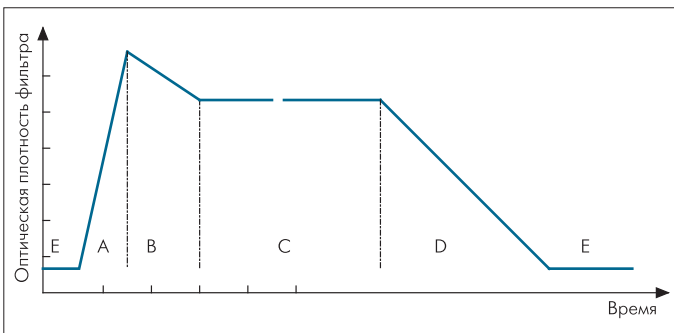


Рис.6. Диаграмма изменения оптического состояния динамического фильтра

может также производить подзарядку литиевого аккумулятора или конденсатора с малым током утечки. При освещении помещения электролампой в 100 Вт солнечная батарея, находясь от нее на расстоянии 3–4 м, обеспечивает ток от 100 до 300 мкА (4–6 В). На ярком солнечном свете значение тока солнечной батареи значительно выше.

Основные характеристики одной из массовых моделей маски сварщика с автоматическим ЖК-затвором фирмы OPTREL:

Режимы сварки	..... электродная сварка (SMAW), MIG газовая резка стали (GMAW), MIG газовая резка алюминия (GMAW), MIG газовая резка нержавеющей стали (GMAW), MAG (GMAW)
Применение	..... газовая и электродуговая сварка
Режим работы	..... автоматический (4/10 и 4/11) или ручной выбор уровня защиты (10 или 11)
Диапазон изменения оптической плотности	..... неактивное состояние — уровень защиты 4, активное состояние — максимальные уровни защиты 10 или 11
Время переключения из светлого состояния в темное	..... 0,4 мс при 25°C; 0,1 мс при 55°C
Время переключения из темного состояния в светлое	..... 0,2–0,3 с
Уровень защиты от УФ-ИК-излучения	..... максимальный
Источник электропитания	..... солнечные элементы
Рабочая температура	..... -10°...+70° С
Общая масса маски	..... 460 г
Габариты кассеты фильтра	..... 90x110x7 мм
Гарантия	..... 2 года
Ремонт	..... гарантирована замена кассеты фильтра любым дилером фирмы OPTREL

ЛИТЕРАТУРА

Фирма ESAB (Швеция). Рекламный проспект “Маска сварщика AUTORAMA”, 1991.

Техническое описание на жидкокристаллический затвор для маски сварщика SPEEDGLAS APC. 1990–1991.

Техническое описание на жидкокристаллический затвор для маски сварщика OPTREL Solarmatic. 1988.

ГОСТ 12.4.-80-79. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия.

IEC публикация 825, 1984. Средства защиты при работе с лазерным оборудованием.

DIN VDE 0837, 1986. Средства защиты при работе с лазерным оборудованием.

DIN 4647. Ч. 7, 1982. Фильтры для сварочных работ.

DIN 5031. Ч. 3. Средства защиты от лазерного излучения.

Нормы NF C43-801. Нормы безопасности при работе с лазерным оборудованием. — Париж, 1985.

Проектные нормы CEN 85/WG4/. Ч. 7. Сварочные фильтры с изменяемым коэффициентом пропускания. — Париж, 1987.

Стекло оптическое цветное. Технические условия ГОСТ 9411-81 “Е”.

E.Sutter, W.Moller. Электрооптические фильтры для маски сварщика. — RFA Brunwick, 1988.

Патент 2714859 ФРГ.

Патент 2438229 Франции.

Фирма НИТТО ДЭНКО. Nitto Electrical Industrial Co.Ltd. Osaka, Jарап. Свойства поляризационных пленок. Информационный материал.

Патент 4759508 США. Автоматический оптический жидкокристаллический затвор.