

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМИ МОДУЛЯТОРАМИ

© 2021 г. А. Ю. Клоков^{а,*}, А. И. Шарков^а

^а Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 53

*e-mail: klokov@lebedev.ru

Поступила в редакцию 14.08.2020 г.

После доработки 21.08.2020 г.

Принята к публикации 23.08.2020 г.

Малогабаритный формирователь импульсов управления широкополосными электрооптическими модуляторами способен работать на частотах от 0 до 1.5 МГц и позволяет формировать управляющие импульсы с напряжением до 300 В и более и фронтами нарастания и спада ~35 нс. Малые размеры формирователя позволяют объединить его с электрооптическим модулятором в единый блок, что существенно уменьшает паразитное электромагнитное излучение.

DOI: 10.31857/S0032816221010298

Для управления интенсивностью и поляризацией оптического излучения широко применяются электрооптические модуляторы (э.о.м.), использующие эффект Поккельса. В частности, методика возбуждения—зондирования, используемая для исследования тепловых и упругих свойств микро- и наноструктур, требует модуляции возбуждающего лазерного излучения для применения метода синхронного детектирования [1]. Для линейного управления напряжением на э.о.м. фирмы-изготовители, как правило, предлагают специальные усилители, которые, однако, весьма дороги и имеют ограниченную полосу пропускания (~1 МГц) [2]. В то же время во многих случаях, как, например, в методике возбуждение—зондирование, линейное управление не является обязательным, достаточно управления э.о.м. с помощью прямоугольных импульсов. При этом можно также существенно понизить потребляемую схемой управления мощность, сделав ее компактной и расположив максимально близко к э.о.м., что существенно уменьшит проблемы с нежелательным электромагнитным излучением.

В данной статье описан простой малогабаритный формирователь импульсов для управления широкополосными электрооптическими модуляторами, такими как МЛ-102, МЛ-103, Thorlabs (модели EO-AM-NR-Cx, EO-PM-NR-Cx, $x = 1, 2, 3, 4$), Newport (модели 400x, $x = 2, 4, 6$) и подобные. От ранее опубликованных устройств [3, 4] его отличает существенно меньшая потребляемая мощность ~20 мВт/кГц (при емкостной нагрузке 100 пФ, скважности 0.5 и амплитуде импульсов

300 В) и возможность формирования импульсов с длительностью фронтов нарастания и спада ~30–50 нс.

Схема формирователя приведена на рис. 1. Существенное упрощение схемы достигнуто за счет использования микросхемы IR2113 производства фирмы International Rectifier [5], обычно используемой для управления полумостами импульсных источников питания на полевых транзисторах. В отличие от типовой схемы включения [5], в предлагаемой схеме использован дополнительный, изолированный от земли источник питания ($FV, 13 В$) драйвера верхнего транзистора (T_1). Это позволяет понизить минимальную рабочую частоту формирователя до нуля.

В схеме использованы транзисторы 2SK3067 фирмы Toshiba (T_1, T_2), имеющие малый заряд переключения (~9 нКл). Кроме того, в цепях их затворов установлены рекомендованные в [6] токоограничивающие резисторы 16 Ом. В результате оказалось возможным снизить выделяющуюся в микросхеме IR2113 мощность и поднять верхнюю рабочую частоту до более чем 1 МГц, что существенно выше типовой рабочей частоты (100 кГц), указанной в [6]. Для облегчения теплового режима транзисторов T_1, T_2 введены резисторы R_1 и R_2 с рассеиваемой мощностью 6 Вт каждый, на которых выделяется большая часть мощности при протекании токов заряда/разряда емкости нагрузки и выходной емкости транзисторов.

При емкости нагрузки ~100 пФ (характерной для вышеперечисленных электрооптических модуляторов) эти резисторы удлиняют фронты на-

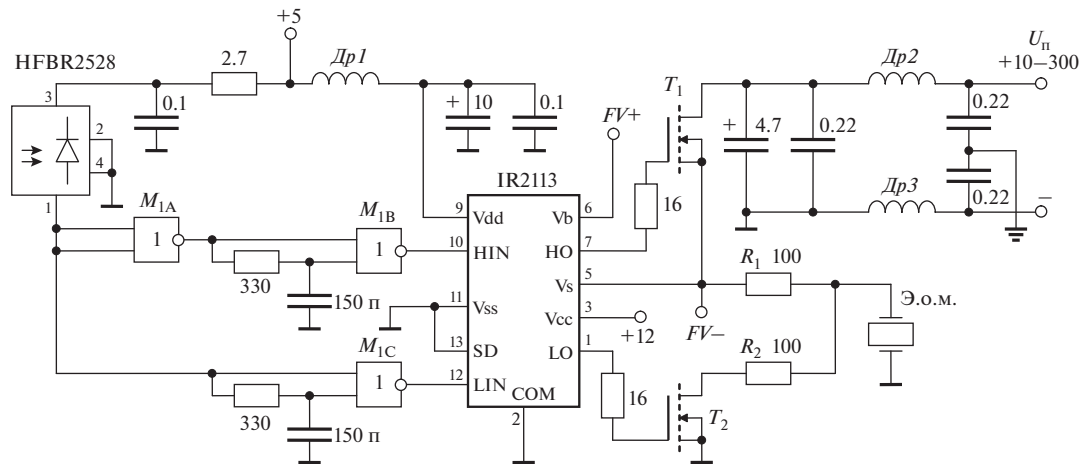


Рис. 1. Принципиальная схема формирователя. M_1 – 74НС02; T_1, T_2 – 2SK3067 (транзисторы установлены на радиаторе площадью 160 см²); HFBR2528 – оптоволоконный приемный модуль; $Др1$ – $Др3$ – дроссели подавления помех, например BL01RN1A2A2B; R_1, R_2 – МЛТ-2-300 Ом (по три параллельно). К выводам 2 и 3 микросхемы IR2113 подключены параллельно конденсаторы 10 и 0.1 мкФ.

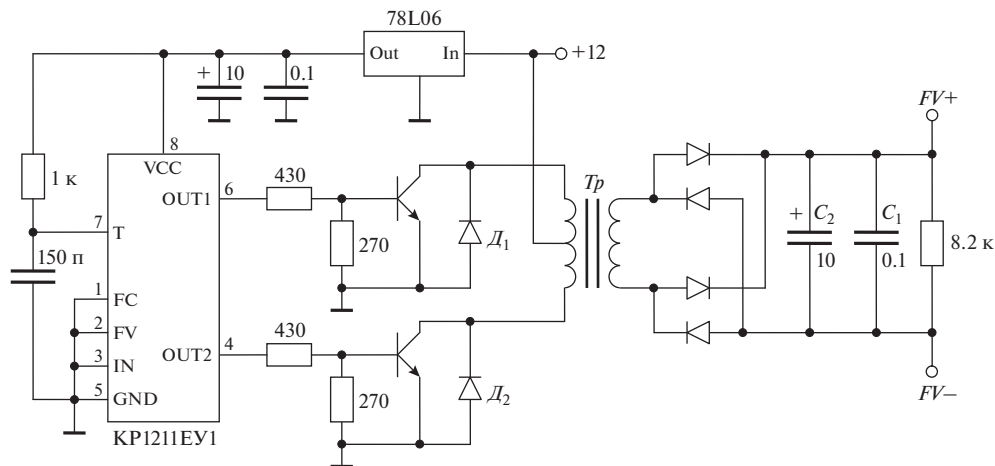


Рис. 2. Принципиальная схема дополнительного источника питания. Транзисторы – КТ660А; D_1, D_2 – 1N5818, остальные – 1N5819; Tr – кольцевой сердечник 7.5 × 12.6 × 3.5 мм с начальной магнитной проницаемостью 3200, w_1 – две секции по 36 витков, в два провода ПЭВ-1 Ø0.3 мм, w_2 – 42 витка провода ПЭЛШО Ø0.1 мм; C_1 и C_2 должны быть установлены максимально близко к выводам 5 и 6 микросхемы IR2113 на рис. 1.

растания и спада выходного импульса на ~10 нс, что меньше времен нарастания и спада использованных полевых транзисторов 2SK3067. Заметим, что на частотах выше 500 кГц эти резисторы нагреваются до ~60°C и более. Управление на микросхему IR2113 поступает с двух схем задержки, собранных на элементах M_{1B} и M_{1C} микросхемы 74НС02, не позволяющих включить верхний и нижний транзисторы T_1, T_2 одновременно.

Дополнительный источник питания (рис. 2) собран по двухтактной схеме с использованием в качестве задающего генератора микросхемы KP1211EY1, работающей на частоте ~290 кГц. Напряжение

питания этой микросхемы (6 В) получено от мало-мощного трехвыводного стабилизатора 78L06. Такое напряжение питания выбрано с целью минимизации помех от сквозных токов, протекающих в выходных каскадах KP1211EY1. Гальваническая развязка выхода источника от земли осуществляется с помощью трансформатора Tr . Емкость между первичной и вторичной обмотками трансформатора составляет ~40 пФ, что незначительно дополнительно нагружает выходной каскад на T_1, T_2 (рис. 1).

Работа формирователя импульсов проверялась на частотах вплоть до 1.5 МГц. На более вы-

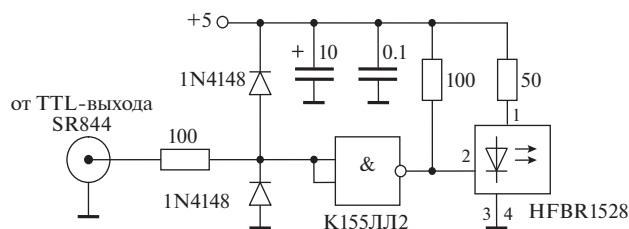


Рис. 3. Принципиальная схема управления оптоволоконным передатчиком. HFBR1528 — оптоволоконный передающий модуль. На вход схемы подаются импульсы от генератора, управляющего э.о.м., например, с TTL-выхода синхронного усилителя SR844.

соких частотах из-за перегрева микросхемы IR2113 работоспособность нарушалась.

С целью минимизации электромагнитного излучения от формирователя управляющие импульсы подаются по оптоволокну на оптоволоконный приемный модуль HFBR2528 (рис. 1). Схема управления оптоволоконным передатчиком (рис. 3) находится вне формирователя на значительном расстоянии (~1.5 м) и может получать питание от батарей, ее средний ток потребления ~50–70 мА.

Амплитуда выходных импульсов формирователя зависит от высокого напряжения питания U_n , что очень удобно для регулировки средней интенсивности оптического излучения на выходе модулятора. В авторском варианте формирователь использовался для управления электрооптическим модулятором МЛ-102А, а в качестве источника питания U_n использовался стабилизированный блок питания Б5-50, позволяющий устанавливать напряжение от 0 до 300 В с шагом 1 В.

Конструктивно макет формирователя был выполнен на печатной плате размером 70 × 100 мм и соединен с помощью отрезка коаксиального кабеля длиной ~5 см с модулятором в единый блок. Специальное экранирование формирователя с э.о.м. не использовалось.

Модулятор использовался в оптической схеме возбуждение—зондирование для синхронного детектирования малых ($\sim 10^{-6}$ – 10^{-3}) относительных изменений интенсивности оптического излучения, регистрируемых с помощью фотодиода (также не экранированного) и синхронного усилителя SR844 фирмы Stanford Research Systems. Расстояние между фотодиодом и модулятором составляло <1 м, при этом уровень наводки на фотодиод был <2 мкВ.

Длительности фронта τ_f и спада $\tau_{сп}$ импульсов на э.о.м. при различных напряжениях питания U_n измерялись цифровым осциллографом LeCroy WR62Xi-A и составили: при $U_n = 300$ В — $\tau_f = 30$ нс, $\tau_{сп} = 45$ нс; при $U_n = 160$ В — $\tau_f = 33$ нс, $\tau_{сп} = 47$ нс; при $U_n = 50$ В — $\tau_f = 45$ нс, $\tau_{сп} = 57$ нс. При умень-

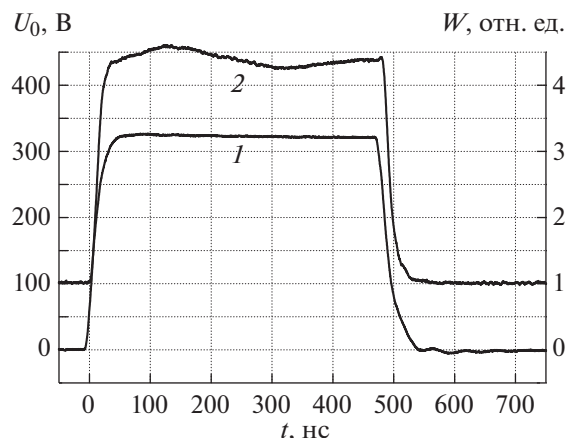


Рис. 4. Зависимости управляющего напряжения на выходе формирователя U_0 при работе с электрооптическим модулятором МЛ-102А (1) и интенсивности пропускаемого им оптического излучения W (2, для наглядности смещена по вертикали) от времени t .

шения напряжения питания длительности фронтов увеличивались, что связано с увеличением выходной емкости и емкости Миллера транзисторов T_1 и T_2 ; от частоты длительность фронтов не зависела.

В качестве примера работы схемы на рис. 4 приведены зависимости управляющего напряжения на выходе формирователя при работе с электрооптическим модулятором МЛ-102А (кривая 1) и интенсивности пропускаемого им оптического излучения (кривая 2) от времени при работе на частоте 1.1 МГц при скважности 0.5. Измерение интенсивности оптического излучения производилось фотодиодом ФДГ-150С с временем нарастания 150 пс. В этом случае по уровням 0.1–0.9 времена нарастания составляют для управляющего напряжения 30 нс, а для интенсивности оптического излучения 20 нс, времена спада — 44 нс и 26 нс соответственно.

Осцилляции интенсивности проходящего излучения, наблюдаемые на кривой 2, вызваны паразитным акустооптическим эффектом в кристаллах DKDP, используемых в модуляторе МЛ-102А.

В заключение отметим, что подобный формирователь работает в составе экспериментальной установки более 10000 ч. Паспортное максимальное рабочее напряжение микросхемы IR2113 и транзисторов T_1 и T_2 (2SK3067) составляет 600 В. Поэтому без изменения схемных решений возможно получение импульсов амплитудой до 500 В, при возможном некотором снижении максимальной рабочей частоты.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 19-02-00952а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jiang P., Qian X., Yanga R.* // J. Appl. Phys. 2018. V. 124. P. 161103.
<https://doi.org/10.1063/1.5046944>
2. HVA200 – High Voltage Amplifier. <https://www.thorlabs.com/drawings/d65eba87324b1d3c-AAD5FF34-08EB-8D51-8678C854259CAAD1/HVA200-Manual.pdf>
3. *Апанасевич С.П., Ляхнович А.В., Сеницын Г.В.* // ПТЭ. 1987. № 5. С. 156.
4. *Гутенко А.Д., Удоев Ю.П.* // ПТЭ. 1992. № 1. С. 208.
5. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf>
6. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>