

перевод EU2AA

Система предназначена для разработки ВЧ усилителей мощности (УМ) в диапазоне от ВЧ диапазонов до 13 см. **Он состоит из генератора импульсов, который вставляется между ВЧ-генератором и тестируемым УМ.** Эта система позволяет использовать **УМ в импульсном режиме с малым рабочим циклом**, то есть в течение очень короткого времени по сравнению с периодом повторения.

Таким образом, **его пиковая мощность будет равна его номинальному значению, но его средняя мощность будет очень низкой, что приведет к резкому снижению нагрева, потребления и рисков во время регулировки.**

Импульсный режим

Импульсный режим заключается **в периодическом срабатывании устройства в течение очень короткого времени.** Отношение между временем работы и периодом T (обратным частоте) называется **рабочим циклом и обозначается α** (рабочий цикл D в англоязычной литературе). Это безразмерное число от 0 до 1, часто выражаемое в процентах. Во время фазы работы схема работает номинально. Во время фазы отдыха его останавливают.

Возьмем, к примеру, передатчик CW мощностью 100 Вт, передающий серию точек. Если длительность точки равна промежутку между 2 точками, мы находимся в импульсном режиме с коэффициентом заполнения 50%. Пиковая передаваемая мощность составляет 100 Вт, но средняя мощность составляет всего 50 Вт.

Если мы увеличим расстояние между двумя точками, мы сможем уменьшить рабочий цикл до очень низкого значения. Если, например, расстояние между двумя точками равно 9-кратной продолжительности точки, рабочий цикл будет 10%, а средняя мощность будет 10 Вт.

Теперь **посмотрим на стрелку ваттметра** нашего передатчика. Если мы манипулируем на очень низкой скорости, мы увидим, что **стрелка** поднимается, а затем опускается, но если мы увеличим скорость, мы увидим, что **стрелка** покачивается на промежуточном уровне. При дальнейшем увеличении скорости **стрелка** в конечном итоге стабилизируется на значении, равном номинальной мощности, умноженной на рабочий цикл. Другими словами, **стрелка измерителя мощности нашего передатчика 100 Вт будет показывать 10 Вт, если рабочий цикл составляет 10%.** Это связано с тем, что гальванометр с подвижной рамой чувствителен к среднему значению тока, протекающего через него. Если период T достаточно мал по сравнению с постоянной времени гальванометра, стрелка займет устойчивое положение.

Заинтересованность в системе

Первое включение усилителя мощности часто является источником стресса как для компонентов, так и для оператора ... Эта система позволяет безопасно настраиваться при номинальном напряжении и мощности, без риска поломки и без чрезмерного нагрева, поскольку УМ работает в импульсном режиме с очень малым рабочим циклом.

Источник питания РА должен обеспечивать только **пониженную мощность**. Поэтому мы можем разработать мощный РА **с небольшим источником питания**, что значительно снижает риски. Однако **следует предусмотреть достаточно большую буферную**

емкость, чтобы обеспечить необходимую интенсивность во время работы. Необходимая мощность рассчитывается по формуле, аппроксимируемой превышением $C = Idt / \Delta V$, где I - интенсивность, потребляемая УМ, Δt - время, в течение которого УМ работает, а ΔV - допустимое падение напряжения в течение периода проводимости.

Возьмем, к примеру, усилитель мощности, потребляющий 5 А при 24 В. Мы заставим его работать в импульсном режиме на частоте **100 Гц и ПВ 20%**. Таким образом, период составляет 10 мс, а время работы - 2 мс. Допустим, что за эти 2 мс емкость разряжается на 1 В. Следовательно, значение необходимой емкости будет примерно $C = 5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} / 1 =$ **10,000 мкФ**.

Принцип работы

Схема состоит в основном из широтно-импульсного модулятора (МШИ или PWM), управляющего переключателем постоянного тока и переключателем RF (рисунок 1). Частота ШИМ регулируется примерно от 40 Гц до 300 Гц, а рабочий цикл - от 0 до 100%.

Мощность, выдаваемая генератором RF, обычно 10 дБм, обычно недостаточна для раскачки на РА. В этом случае **необходимо использовать промежуточный усилитель** для достижения уровня мощности возбуждения, требуемого тестируемой РА. Затем **он будет помещен между РЧ-переключателем и УМ, и на него может подаваться импульсное напряжение (это не обязательно, потому что вход усилителя постоянно заряжается 50 Ом, что ограничивает риски нестабильности)**. В случае линейного усилителя напряжение поляризации УМ может быть взято из импульсного напряжения.

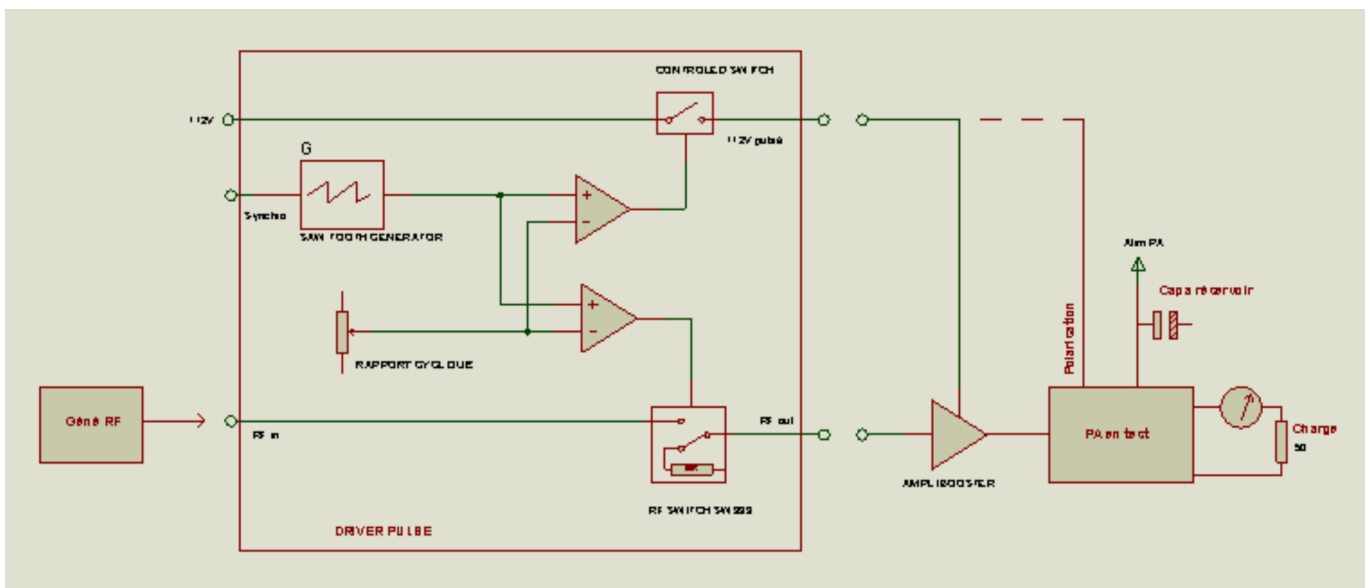


Рисунок 1 - Принципиальная схема системы

Описание схемы импульсного драйвера (см. Схему) ([voir schéma](#))

Генератор пилы

Используется таймер 555, обычно устанавливаемый как нестабильный, в котором зарядка конденсатора $C1$ происходит не через резистор, а через транзистор $Q1$, включенный как генератор тока. Его интенсивность регулируется потенциометром регулировки частоты $RV1$.

Конденсатор $C1$ заряжается постоянным током, напряжение на его выводах линейно увеличивается.

На выводах конденсатора $C1$ получается напряжение, которое линейно увеличивается между $1/3$ и $2/3$ напряжения питания V_{cc} .

$C1$ разряжается через 555, пока напряжение не достигнет $1/3$ от 12В, это длится

несколько мкс. Затем цикл начинается снова, и на выводах С1 получаем пилообразный сигнал.

В то же время прямоугольный сигнал восстанавливается на выходе Q модуля 555, который формируется транзистором Q3. Таким образом, **мы получаем сигнал синхронизации (уровень TTL), совместимый с большинством анализаторов спектра**. Позже мы увидим его полезность.

Обратите внимание, что импульс синхронизации поступает до начала фазы проводимости, что позволяет наблюдать установление ВЧ-импульса и наличие возможного потенциально опасного выброса, особенно с усилителями LDMOS.

Развитие рабочего цикла

Пилообразное напряжение подается на неинвертирующие входы **двойного компаратора LM393**. Инвертирующие входы получают переменное напряжение постоянного тока от $(1/3) V_{cc}$ - до $(2/3) V_{cc} + \varepsilon$ через потенциометр RV2. На выходе компаратора (открытый коллектор) восстанавливается прямоугольный сигнал, рабочий цикл которого пропорционален напряжению, подаваемому RV2, и регулируется в пределах от 0 до 100%.

Импульсное питание

Первый компаратор управляет Р-канальным MOSFET-транзистором Q2, установленным последовательно с источником питания V_{cc} . Транзисторы Q4 и Q7 обеспечивают правильное переключение Q2. В зависимости от выбора Q2 доступный ток более или менее важен. С **IRF9530 у нас минимум 4А**. Импульсный выход 12 В может использоваться для питания схемы драйвера или поляризации тестируемого усилителя мощности (биполярный или LDMOS). Светодиод D1, подключенный к выходу, обеспечивает переменное свечение в соответствии с рабочим циклом и служит индикатором.

Схема работает при напряжении постоянного тока **от 10 до 18 В**. С некоторыми небольшими изменениями **можно заставить его работать до 30 В** (еще не проверено).

Радиочастотный переключатель

Второй компаратор управляет схемой переключателя RF SW-393 производства MA / com. Эта небольшая схема в корпусе SO8 предназначена для диапазона от 0,5 до 2 ГГц, но она очень хорошо работает в диапазоне от 13 см до низких частот! **Его выход переключается либо на вход, либо на внутреннее сопротивление 50 Ом**, поэтому **цепь позади всегда видит подходящую нагрузку**. Питается от + 5В через регулятор 78L05.

Вносимые потери составляют несколько дБ и незначительно зависят от частоты.

Изоляция превышает 40 дБ во всем диапазоне, максимальная около 15 МГц и достигает 70 дБ!

Остановка

Переключатель используется для принудительного обнуления рабочего цикла (переключатель RF разомкнут, переключатель питания разомкнут). Эта функция очень удобна при фокусировке.

Невозможно использовать вход сброса 555, так как это дает противоположный эффект (100% рабочий цикл). Мы используем контакт CONTROL 555, поместив его на + V_{cc} через транзистор Q6.

CW вариант

Иногда можно использовать его TX в положении CW **в качестве генератора импульсов**. Просто подключите диод оптопары последовательно с диодом D1, выходы оптопары управляют входом KEY TX. Однако некоторые передатчики не поддерживают высокую частоту обработки, например FT817, поэтому необходимо будет провести тесты.

Реализация пульсара

Схема выполнена на двухсторонней печатной плате из эпоксидной смолы толщиной **0,8 мм**. Его размеры совместимы с коробкой Шуберта 148x55x30 мм. Используются традиционные компоненты, за исключением ВЧ-переключателя, установленного на медной стороне smt формата 0805 (4 конденсатора, 4 резистора и один SO8). Обратите внимание, **Switch RF SW-393 боится статики**.



Рисунок 2 - Фотография тестируемого прототипа

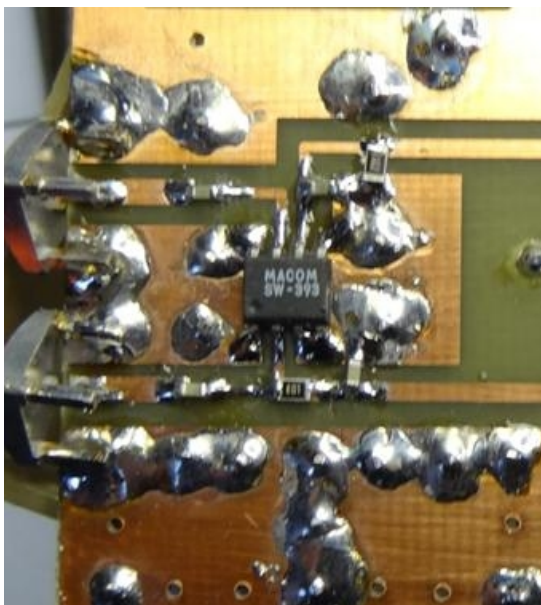


Рисунок 3 - РЧ-переключатель установлен на медной стороне
На фотографиях на рисунках 4 и 5 показаны два способа монтажа схемы в коробке.



.Рисунок 4 - Реализация F6CSX

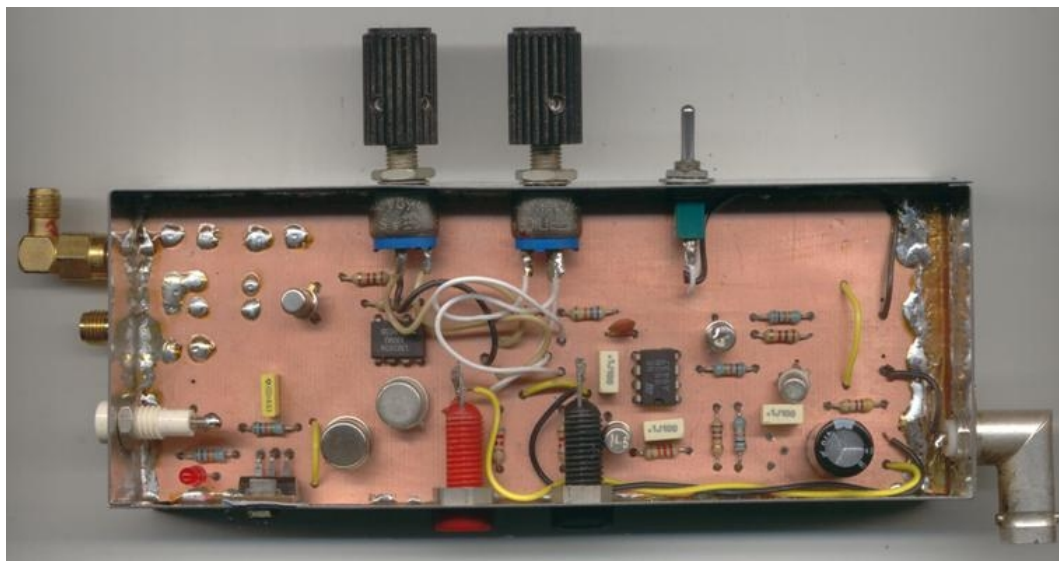


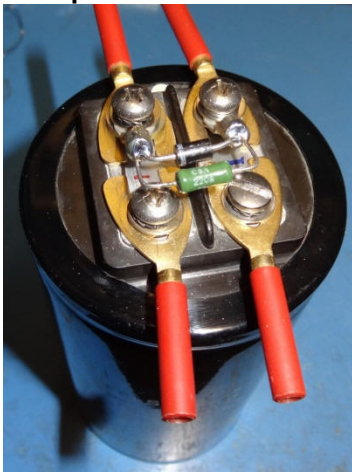
Рисунок 5 - Реализация F6BVA

Питание подается через пару банановых розеток 4 мм, а импульсный выход также через банановые розетки (2 мм или 4 мм).

Синхронный выход на анализатор спектра - BNC, вход и выход радиочастотного переключателя - **на разъемах SMA**.

MOSFET-транзистор крепится к стене через слюдяную прокладку, покрытую силиконовой смазкой. Два потенциометра и переключатель установлены на боковой стенке корпуса. Схема не требует настройки. Однако **вы должны убедиться, что кнопка останова работает независимо от настройки частоты, рабочего цикла и напряжения питания.**

Мощность PA



Как указывалось ранее, **преимущество импульсной системы** состоит в том, что она может использовать **малоразмерный источник питания с ограничением по току**. Это возможно при условии, что вы подключили конденсатор, способный подавать энергию на время импульса. **Этот конденсатор необходимо разместить как можно ближе к УМ**, не забывая, что **в проводах, соединяющих его с УМ, циркулирует импульсный ток**, пиковое значение которого равно номинальному значению тока, потребляемого УМ. Следовательно, необходимо будет **их сделать покороче**.

Если **емкость этого накопительного конденсатора очень велика**, соблюдайте его полярность, в случае обратной полярности конденсатор **может взорваться** и вызвать серьезные повреждения.

Настоятельно рекомендуется постоянно подключать встречно-параллельный диод, а также резистор, который обеспечит разряд конденсатора после использования.

Использование этой емкости резервуара **не освобождает от использования разделяющих емкостей в РА**. Отсутствие достаточной развязки может привести к появлению перенапряжений из-за индуктивности кабелей (примерно 1 мкГн на метр).

Использование - инструкция по применению

Конфигурация измерения зависит от доступного оборудования и частоты, с которой вы будете работать. В любом случае **вам понадобится нагрузка 50 Ом**, способная поглощать номинальную мощность тестируемого усилителя, и средства измерения мощности. Для диапазонов низких частот (от декаметрового до 2 м) может быть достаточно простого ваттметра. Для более высоких диапазонов **анализатор спектра практически необходим**.

Минимальная конфигурация (только НЧ)

Нам понадобится RF-генератор, подключенный к RFin-входу генератора.

Внимание, не превышайте 20 дБм (100 мВт), на практике рекомендуется ограничиться 10–13 дБм. Выход RFout генератора импульсов будет подключен к входу РА либо напрямую, либо через небольшой усилитель, чтобы поднять уровень, чтобы довести его примерно до 80% от возбуждения, необходимого для получения максимальной мощности РА. **Если этот промежуточный усилитель имеет большую мощность, настоятельно рекомендуется уменьшить его мощность, чтобы он не мог выдавать больше, чем может принять УМ (особенно с УМ LDMOS, которые очень чувствительны к перегрузкам).**

Между вспомогательным усилителем и входом усилителя мощности предпочтительно вставить направленный ваттметр для отображения прямой и отраженной мощности. Вспомогательный усилитель может питаться импульсным напряжением 12 В, но это не обязательно, как указано выше. Это особенно актуально, когда этот усилитель работает от напряжения, отличного от 12 В. Выход РА будет связан с нагрузкой через ваттметр или любое другое устройство измерения мощности.

Рабочий цикл регулируется следующим образом:

Если у вас есть осциллограф, подключите его к импульсному выходу +12 В.

Подключите синхронный выход генератора импульсов к внешнему синхронному входу

осциллографа.

Установите частоту переключения так, чтобы период на экране осциллографа составлял ровно 10 квадратов. Подсчитайте количество плиток, в течение которых сигнал находится на уровне +12 В. Тогда квадрат соответствует 10% -ному рабочему циклу (такая же процедура с анализатором спектра).

Если у вас нет осциллографа, измерьте с помощью мультиметра напряжение питания V_{cc} (обычно +12 В) и импульсное напряжение V на выходе «+12 В, импульсный».

Расчеты:

Рабочий цикл = $V_{\text{импульс}} / V_{cc}$.

Всегда начинайте регулировку с малого рабочего цикла, максимум 10% для первого включения и мощности возбуждения 50% от номинального значения.

Все, что остается, - это запитать сборку и произвести настройку классическим способом, максимальная выходная мощность для минимальной отраженной мощности на входе.

Все измеряемые вами параметры следует разделить на рабочий цикл. Например, если вы измеряете 6 Вт на выходе и потребление 1 А при рабочем цикле 10%, это означает, что в действительности выходная мощность составляет 60 Вт, а потребляемый ток - 10 А. Зато радиатор будет нагреваться в 10 раз меньше!

Конфигурация с анализатором спектра

Принцип тот же, но мы будем использовать анализатор спектра для измерения мощности.

Калиброванный направленный ответвитель размещается на входе усилителя мощности, а другой - на выходе. Подключите их к анализатору, **возможно, добавив аттенюаторы**, чтобы никогда не перегружать вход. **На высоких частотах используйте кабели с измеренными вносимыми потерями.** Сделайте **очень точную калибровку.** На рисунке 7 показан снимок экрана вывода RF_{out} .

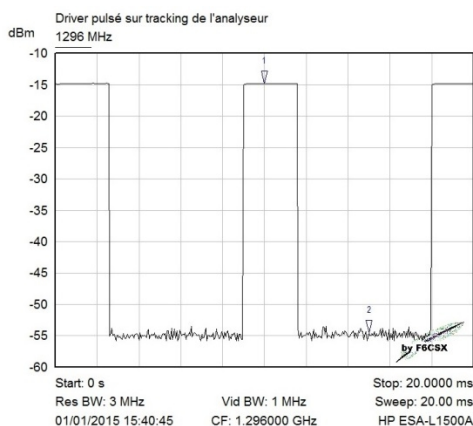


Рисунок 7 - Скриншот анализатора

Настройте анализатор спектра следующим образом (в случае анализатора HP / Agilent):

1- MENU FREQUENCY

Установите центральную частоту на рабочее значение (частота генератора RF)

2- MENU SPAN

Переключиться на **SPAN ZERO**

3- MENU TRIG

Установите **EXTERNAL** и подключите **TRIG input** анализатора к синхронному выходу генератора импульсов.

4- МЕНЮ SWEEP

Выберите **время сканирования**, например **10 мс**, и отрегулируйте **частоту переключения** (**switching frequency**) соответственно, чтобы увидеть на экране один, два или три периода, не более. Проверьте рабочий цикл, затем уменьшите время сканирования, чтобы импульс занимал не менее 3 квадратов на экране анализатора, чтобы обеспечить хорошую точность считывания.

5- МЕНЮ АМПЛИТУДЫ

Отрегулируйте опорный уровень с учетом измеряемой мощности и затухания соединителя, кабелей и любых подключенных аттенюаторов.

Как указывалось ранее, **предварительная калибровка является обязательной**.

Работайте с увеличенным масштабом, по возможности **1 или 2 дБ на квадрат**.

6- МЕНЮ BW

Крайне важно, чтобы **анализатор был настроен на максимально широкую полосу пропускания**, чтобы не пропустить какие-либо выбросы или помехи, которые могут возникнуть при установлении импульса.

Если в анализаторе есть следящий генератор (tracking generator), его целесообразно использовать **вместо ВЧ-генератора**.

Удобно иметь возможность напрямую считывать мощность в ваттах. Затем действуйте следующим образом:

В меню АМПЛИТУДА, отрегулировать смещение опорной линии в соответствии с калибровкой выполняется ранее, и выбрать отображение в W.

Configurer l'analyseur de spectre de la manière suivante (cas d'un analyseur HP/Agilent) :

1- MENU FREQUENCY

Régler la fréquence centrale à la valeur de travail (celle du générateur RF)

2- MENU SPAN

Passer en SPAN ZERO

3- MENU TRIG

Mettre sur EXTERNAL et relier l'entrée TRIG de l'analyseur à la sortie Synchro du pulseur.

*Set to **EXTERNAL** and connect the TRIG input of the analyzer to the Synchro output of the blower.*

4- MENU SWEEP

Choisir la durée de balayage, par exemple 10ms, et ajuster la fréquence de découpage en conséquence pour voir à l'écran, une, deux ou trois périodes, pas plus. Vérifier le rapport cyclique, puis diminuer la durée de balayage pour que l'impulsion occupe au moins 3 carreaux sur l'écran de l'analyseur de manière à avoir une bonne précision de lecture

*Choose the **scanning time**, for example **10ms**, and adjust the switching frequency accordingly to see on the screen, one, two or three periods, not more. Check the duty cycle, then decrease the scanning time so that the pulse occupies at least 3 squares on the analyzer screen so as to have good reading accuracy*

5- MENU AMPLITUDE

Ajuster le niveau de référence en tenant compte de la puissance à mesurer et de l'atténuation du coupleur, des câbles et des éventuels atténuateurs connectés.

Une phase de calibration préalable est impérative comme indiqué précédemment.

Travailler avec une échelle dilatée, 1 ou 2 dB par carreau si possible.

6- MENU BW

Il faut impérativement que l'analyseur soit configuré pour la bande passante la plus large possible, afin de ne pas manquer un éventuel overshoot ou parasite pouvant survenir à l'établissement de l'impulsion.

*Si l'analyseur dispose d'un **générateur de tracking**, on l'utilisera avantageusement à la place du générateur RF.*

Il est commode de pouvoir lire directement la puissance en Watts. Procéder alors de la manière suivante:

Dans le menu AMPLITUDE, régler l'offset de la ligne de référence en fonction de la calibration effectuée précédemment et choisir l'affichage en W.

It is imperative that the analyzer is configured for the widest possible bandwidth, so as not to miss any overshoot or interference that may occur when the pulse is established.

If the analyzer has a **tracking generator**, it will be advantageously used instead of the RF generator.

It is convenient to be able to directly read the power in Watts. Then proceed as follows:

In the AMPLITUDE menu, adjust the offset of the reference line according to the calibration performed previously and choose the display in W.

Выводы

Импульсный усилитель мощности RF **обеспечивает беспрецедентную безопасность и душевное спокойствие**. Представленная схема может быть изменена и каждый может быть вдохновлен ею. Например, можно заменить РЧ-переключатель аттенуатором на PIN-диоде.

Автор хотел бы особо поблагодарить F6BVA за создание этого проекта, а также всех тех, кто любезно перечитывает эту статью и дает ему свои очень разумные комментарии.

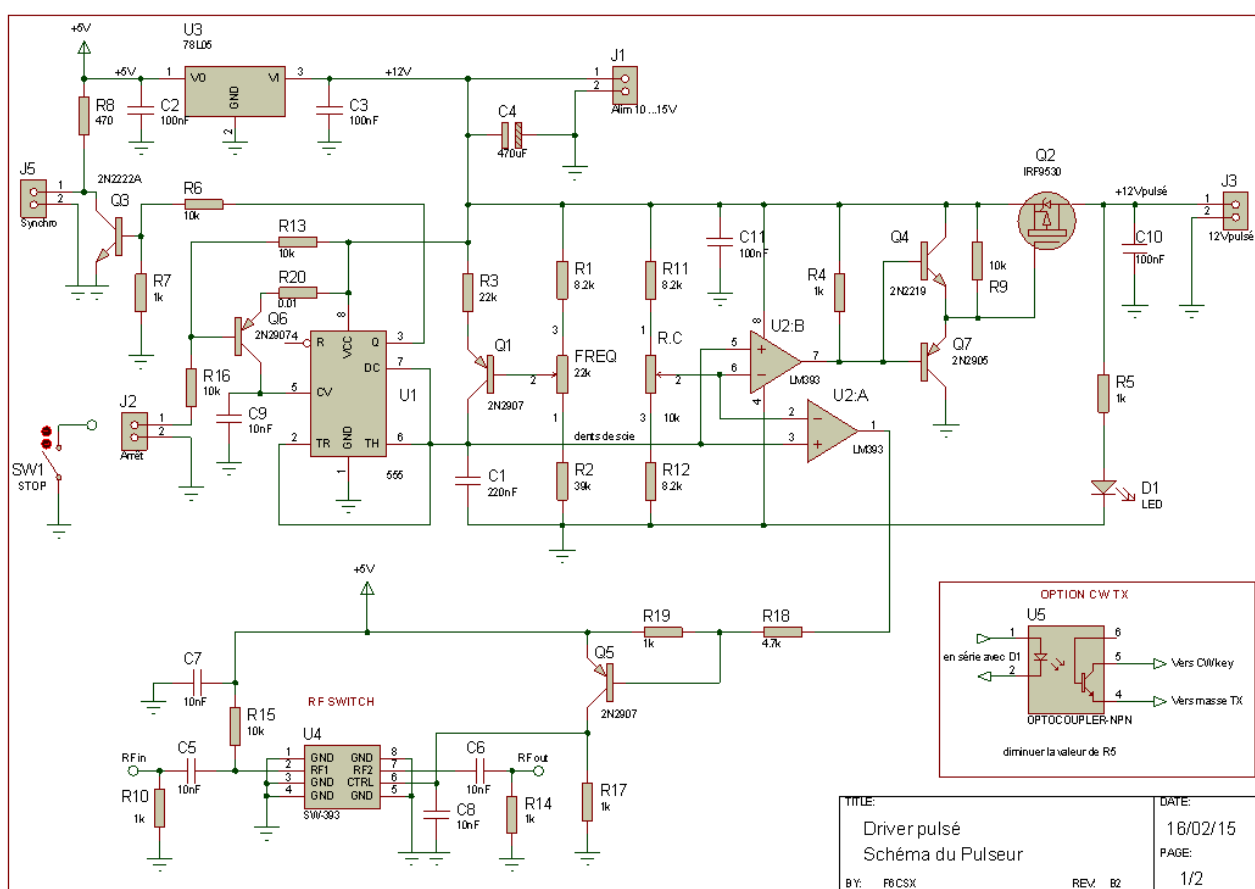


Рисунок 8 - Схема импульсного драйвера

последнее обновление: 11 мая 2015 г.

73 от Joël F6CSX

Ce [document en pdf](#) Typen du [circuit imprimé au format ARES](#) 73 de Joël F6CSX