Выключатель питания с нулевым потреблением мощности на основе нефиксируемой кнопки

Журнал РАДИОЛОЦМАН, декабрь 2015

Anthony Smith

EDN

Слаботочные выключатели без фиксации, подобные монтируемым на плату тактовым кнопкам, дешевы, доступны и отличаются большим разнообразием размеров и стилей. В то же время кнопки с фиксацией часто имеют бóльшие габариты, они дороже, а диапазон их конструктивных вариантов относительно ограничен. Это может оказаться проблемой, если вам потребуется миниатюрный недорогой выключатель для фиксации питания нагрузки. В статье предлагается схемное решение, позволяющее придать кнопке с самовозвратом функцию фиксации.

Ранее были предложены конструкции, схемы которых основывались на дискретных компонентах [1] и микросхемах [2], [3]. Однако ниже будет описана схема, которой для выполнения тех же функций потребуется всего пара транзисторов и горсть пассивных компонентов.

На Рисунке 1а приведен вариант схемы включения питания для случая нагрузки, подключенной к земле. Схема работает в режиме «переключателя»; это значит, что первое нажатие включает питание нагрузки, второе выключает, и так далее.

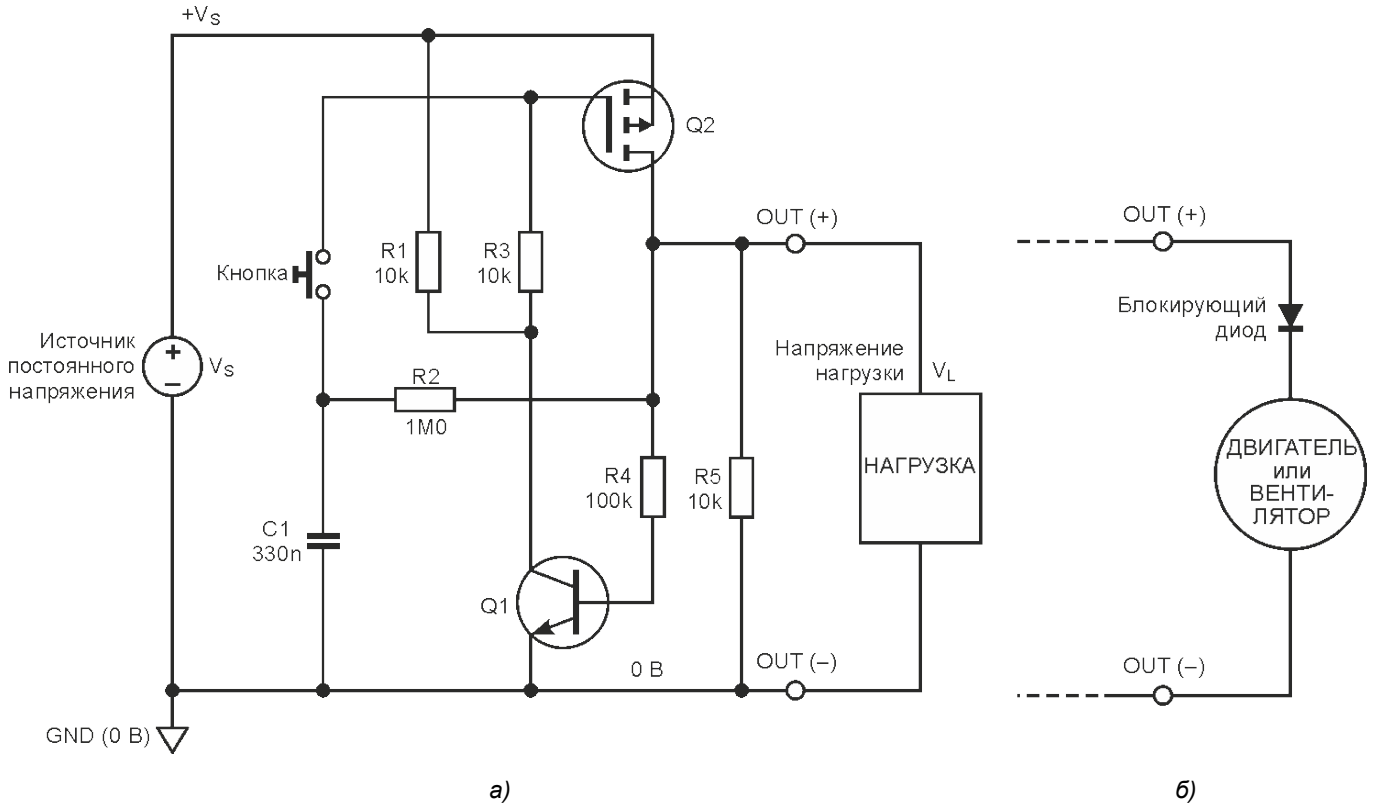

*Рисунок 1.**Эта схема превращает кнопку без фиксации в выключатель питания.***

Чтобы понять принцип работы схемы, представим, что источник питания $+V_S$ только что подключен, конденсатор C1 в исходном состоянии разряжен, и транзистор Q1 выключен. При этом резисторы R1 и R3 оказываются включенными последовательно и подтягивают затвор P-канального MOSFET Q2 к шине $+V_S$, удерживая транзистор в закрытом состоянии. Сейчас схема находится в «деблокированном» состоянии, когда напряжение нагрузки V_L на контакте OUT (+) равно нулю.

При кратковременном нажатии нормально разомкнутой кнопки затвор Q2 подключается к конденсатору C1, разряженному до 0 В, и MOSFET включается. Напряжение нагрузки на клемме OUT (+) немедленно увеличивается до $+V_S$, через резистор R4 транзистор Q1 получает базовое смещение и открывается. Вследствие этого Q1 насыщается и через резистор R3 подключает затвор Q2 к земле, удерживая MOSFET открытым, когда контакты кнопки разомкнуты. Теперь схема находится в «зафиксированном» состоянии, когда оба транзистора открыты, нагрузка получает питание, а конденсатор C1 заряжается до напряжения $+V_S$ через резистор R2.

После повторного кратковременного замыкания переключателя напряжение на конденсаторе C1 (теперь равное $+V_S$) окажется приложенным к затвору Q2. Поскольку напряжение затвор-исток Q2 теперь близко к нулю, MOSFET выключается, и напряжение нагрузки падает до нуля. Напряжение база-эмиттер Q1 также опускается до нуля, закрывая транзистор. В результате при отпущенной кнопке ничто не удерживает Q2 в открытом состоянии, и схема возвращается в «деблокированное» состояние, когда оба транзистора выключены, нагрузка обесточена, а C1 разряжается через резистор R2.

Шунтирующий выходные зажимы резистор R5 устанавливать необязательно. При отпущенной кнопке конденсатор C1 разряжается на нагрузку через резистор R2. Если импеданс нагрузки очень велик (то есть, соизмерим с величиной R2), или нагрузка содержит активные устройства, такие, скажем, как светодиоды, напряжение нагрузки во время выключения Q2 может оказаться достаточно большим, чтобы через резистор R4 открыть транзистор Q1 и не позволить схеме выключиться. Резистор R5 при выключении Q2 подтягивает клемму OUT (+) к шине 0 В, обеспечивая быстрое выключение Q1 и давая схеме возможность надлежащим образом перейти в закрытое состояние.

При правильном выборе транзисторов схема будет работать в широком диапазоне напряжений и может использоваться для управления такими нагрузками, как реле, соленоиды, светодиоды и т. д. Однако не забывайте, что некоторые работающие на постоянном токе вентиляторы и моторы продолжают вращаться и после выключения питания. Это вращение может создавать противоЭДС, достаточно большую, чтобы открыть транзистор Q1 и не позволить схеме выключиться. Решение проблемы показано на Рисунке 1б, где последовательно с выходом включен блокировочный диод. В этом случае также можно добавить в схему в резистор R5.

На Рисунке 2 изображена еще одна схема, предназначенная для нагрузок, подключенных к верхней шине питания, таких, например, как показанное в этом примере электромагнитное реле.

Обратите внимание, что Q1 был заменен p-n-p транзистором, а на месте Q2 теперь находится N-канальный MOSFET. Эта схема работает точно так же, как схема описанная выше. Здесь R5 выполняет функцию подтягивающего резистора, соединяющего выходной контакт OUT (-) с шиной $+V_S$, когда транзистор Q2 выключается, и обеспечивающего быстрое закрывание Q1. Как и в предыдущей схеме, резистор R5 является необязательным компонентом, и устанавливается только при некоторых типах нагрузки, упомянутых выше.

Заметим, что в обеих схемах постоянная времени C1, R2 выбирается исходя из требуемого подавления дребезга контактов. Обычно нормальной считается величина от 0.25 с до 0.5 с. Меньшие постоянные времени могут привести к неустойчивой работе схемы, в то время как бóльшие увеличивают время ожидания между замыканиями контактов кнопки, за которое должен произойти достаточно полный заряд и разряд конденсатора C1. При указанных на схеме значениях C1 = 330 нФ и R2 = 1 МОм номинальная величина постоянной времени равна 0.33 с. Обычно этого бывает достаточно, чтобы устранить дребезг контактов и переключить нагрузку за время порядка пары секунд.

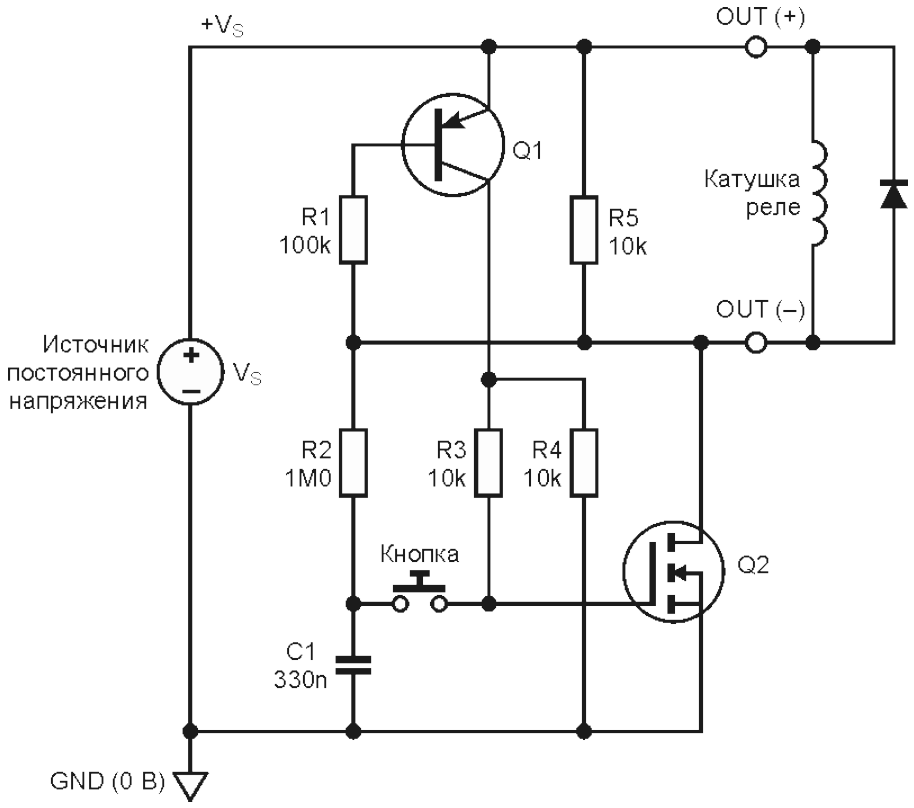

Рисунок 2. ***Схема, видоизмененная для нагрузки, подключенной к положительной шине питания.***

Обе схемы предназначены для фиксации и отпускания ключа в ответ на кратковременные замыкания контактов. Однако каждая из них проектировалась таким образом, чтобы гарантировать правильную работу даже при сколь угодно длительном нажатии кнопки. Рассмотрим схему на Рисунке 2, когда транзистор Q2 закрыт. Если кнопка нажимается для выключения схемы, затвор подключается к потенциалу 0 В (поскольку конденсатор C1 разряжен), и MOSFET закрывается, давая возможность общей точке резисторов R1 и R2 подключиться к шине $+V_S$ через резистор R5 и импеданс нагрузки. Одновременно Q1 также выключается, в результате чего затвор Q2 оказывается соединенным с шиной GND через резисторы R3 и R4. Если кнопку сразу же отпустить, C1 просто зарядится через резистор R2 до напряжения $+V_S$. Однако если оставить кнопку замкнутой, напряжение затвора Q2 будет определяться потенциалом делителя, образованного резисторами R2 и R3+R4. Считая, что при разблокированной схеме напряжение на контакте OUT (-) приблизительно равно $+V_S$, для напряжения затвор-исток транзистора Q2 можно записать следующее выражение:

$$V_{GS} = \frac{(+V_S)\times(R3+R4)}{R2+R3+R4}.$$

Даже если напряжение $+V_S$ будет равно 30 В, результирующего напряжения 0.6 В между затвором и истоком не хватит, чтобы открыть MOSFET вновь. Следовательно, при разомкнутых контактах кнопки оба транзистора будут оставаться выключенными.

Схема на Рисунке 2 фиксируется в открытом состоянии кратковременным замыканием контактов кнопки, когда конденсатор C1 заряжен до напряжения $+V_S$, в результате чего Q2 быстро открывается и потенциал клеммы OUT (-) падает до нуля, а вслед за ним быстро включается Q1. Нажатие кнопки после размыкания контактов позволило бы конденсатору C1 разрядиться до нуля через резистор R2. Однако если кнопка останется нажатой, напряжение на затворе Q2 будет определяться потенциалом, задаваемым делителем R2 и R3. Поскольку Q1 открыт и насыщен, напряжение в точке соединения R3 и R4 на коллекторе Q1 будет близко к $+V_S$, а общая точка резисторов R1 и R2 через транзистор Q2 будет подключена к шине GND. Поэтому при удержании кнопки в замкнутом состоянии напряжение затвор-исток транзистора Q2 равно

$$V_{GS} = \frac{(+V_S)\times R2}{R2+R3} = 0.99(+V_S).$$

Следовательно, если напряжение питания равно, по крайней мере, пороговому напряжению затвор-исток Q2, оба транзистора Q2 и Q1 будут включены до тех пор, пока контакты кнопки остаются разомкнутыми.

Обе схемы служат примерами недорого способа фиксации питания нагрузки с помощью нефиксируемой кнопки. Как и у механического переключателя, мощность, рассеиваемая схемами при отключенной нагрузке, равна нулю.

Ссылки

1. Smith, Anthony H., "Latching power switch uses momentary-action pushbutton", EDN, October 28, 2004.
2. Schelle, Donald, "Electronic circuit replaces mechanical push-push switch", EDN, September 28, 2006.
3. Bhandarkar, Santosh, "Single-IC-based electronic circuit replaces mechanical switch", EDN, March 15, 2007.

Latching power switch uses momentary pushbutton

Anthony Smith

EDN

Low-current, momentary action pushbutton switches, such as PCB-mount 'tactile' types, are cheap, and available in an abundance of different styles. Latching types, on the other hand, are often larger, more expensive, and available only in a relatively limited range of styles. This can be a problem if you need a small, inexpensive switch for latching power to a load. The solution is to convert a pushbutton's momentary action into a latching function.

Previous Design Ideas have proposed solutions based on discrete components (Ref. 1) and IC-based circuits (Ref.2 and Ref.3). The circuit outlined below, however, requires just two transistors and a handful of passive components to achieve the same result.

The circuit in Figure 1(a) is configured to latch power to a low-side (ground-referred) load. It works in 'toggle' mode; that is, the first switch closure applies power to the load, the second removes power, and so on.

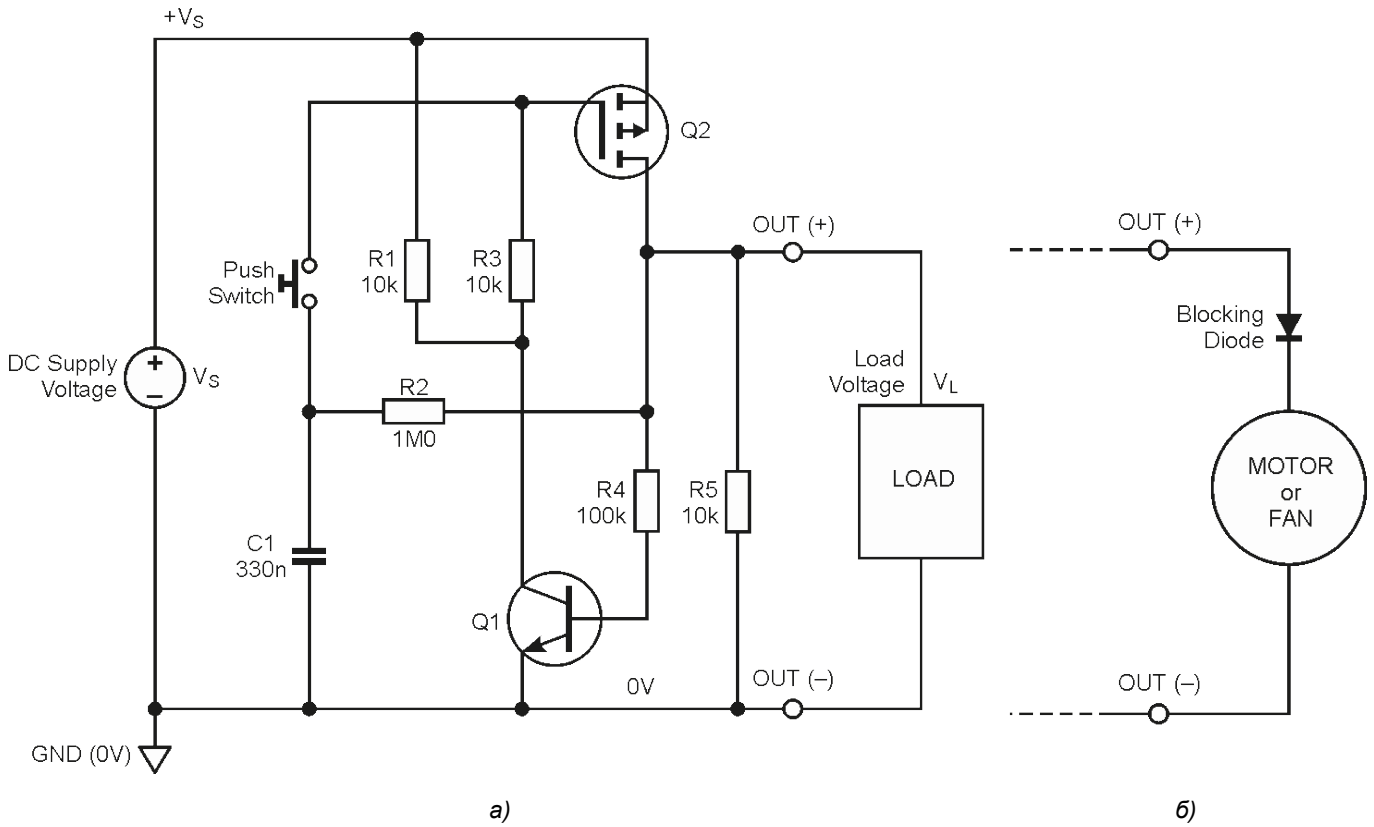

*Figure 1.**Circuit converts momentary action push switch into latching power switch.***

To understand how the circuit operates, assume that the DC power supply, $+V_S$, has just been applied, capacitor C1 is initially uncharged, and Q1 is off. The P-channel MOSFET, Q2, is held in its off state by R1 and R3, which work in series to pull the gate up to $+V_S$, such that V_{GS} is zero. The circuit is now in its 'unlatched' state, where the load voltage, V_L, at the OUT (+) terminal is zero.

If the normally-open push switch is momentarily closed, C1 – being uncharged – pulls Q2's gate to 0 V, thus turning on the MOSFET. The load voltage at OUT (+) now rises immediately toward $+V_S$, and Q1 receives base bias via R4 and turns on. Under these conditions, Q1 saturates and pulls Q2's gate low via R3, thus holding the MOSFET on when the switch has opened. The circuit is now in its 'latched' state, where both transistors are on, the load is energized, and C1 charges up to $+V_S$ via R2.

When the switch is momentarily closed for a second time, the voltage on C1 (by now approximately equal to $+V_S$) is transferred to Q2's gate. Since Q2's gate-source voltage is now roughly zero, the MOSFET turns off and the load voltage falls to zero. Q1's base-emitter voltage also falls to zero and the transistor turns off. Therefore, when the switch is released, there is nothing to hold Q2 on, and the circuit reverts to its 'unlatched' state, where both transistors are off, the load is de-energized, and C1 discharges via R2.

Resistor R5 across the output terminals is an optional component that acts as a pull-down. When the switch is released, C1 discharges via R2 into the load. If the load impedance is very high (i.e., similar in magnitude to R2), or if it contains active devices such as LEDs, the load voltage at the instant Q2 turns off may be large enough to bias Q1 on via R4, thereby preventing the circuit from turning off properly. The presence of R5 pulls the OUT (+) terminal down to 0 V when Q2 turns off, thus ensuring that Q1 turns off rapidly, and allowing the circuit to revert to its unlatched state in a proper manner.

Provided the transistors are correctly rated, the circuit will work over a wide voltage range and is well suited to driving loads such as relays, solenoids, LEDs, and so on. However, beware that certain DC fans and motors continue to rotate when their drive power is removed. This rotation can generate an EMF large enough to bias Q1 on, thereby preventing the circuit from switching off. You can eliminate this problem by inserting a blocking diode in series with the output, as shown in Figure 1(b). You must also include R5 to ensure Q1 turns off properly.

The complementary circuit outlined in Figure 2 is intended for 'high-side' loads connected to the positive supply rail such as the relay shown in this example.

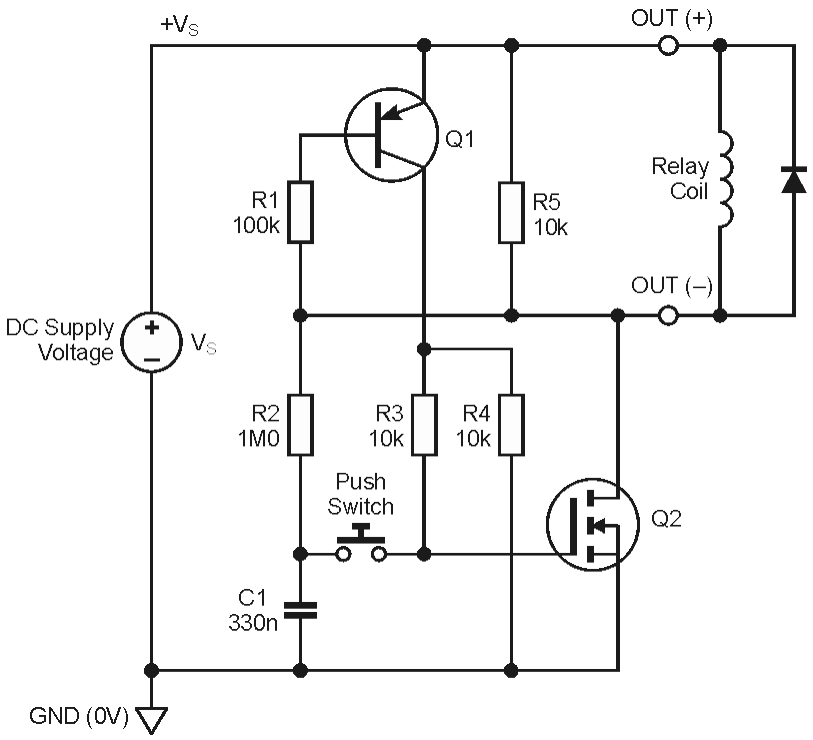

Figure 2. ***Complementary circuit intended for high-side loads.***

Note that Q1 has been replaced with a PNP transistor, and Q2 is now an N-channel MOSFET. The circuit operates in a similar way to the one described above. Here, R5 acts as a pull-up resistor which pulls the OUT (-) terminal up to $+V_S$ when Q2 turns off, thus ensuring that Q1 turns off quickly. As in the previous circuit, R5 is optional and only necessary for the types of load mentioned previously.

Note that in both circuits, the time constant produced by C1-R2 provides for debouncing of the push switch contacts. Normally, a value of 0.25 s to 0.5 s should be adequate. Smaller time constants may lead to erratic behaviour, whereas a larger time constant increases the waiting time between switch closures necessary to ensure that C1 charges and discharges properly. With C1 = 330 nF and R2 = 1 MΩ as shown, the time constant is nominally 0.33 s. This is usually sufficient to debounce the contacts and to allow the load power to be toggled after a couple of seconds or so.

Both circuits are intended to latch and unlatch in response to brief, momentary switch closures. However, they have each been designed to ensure correct operation even if the push switch is held closed for any length of time. Consider the circuit in Figure 2 when Q2 is on. When the switch is pressed to unlatch the circuit, the gate is pulled down toward 0 V (since C1 is uncharged) and the MOSFET switches off, allowing the junction of R1-R2 to rise toward $+V_S$ via R5 and the load impedance. At the same time, Q1 also switches off, such that Q2's gate is pulled to 0 V via the

series combination of R3 & R4. If the switch is released immediately, C1 will simply charge up toward $+V_S$ via R2. However, if the switch is kept closed, Q2's gate voltage will be defined by the potential divider formed mainly by R2 and R3+R4. If we assume that the OUT (-) terminal is roughly equal to $+V_S$ when the circuit is unlatched, Q2's gate-source voltage is given by:

$$V_{GS} = \frac{(+V_S) \times (R3 + R4)}{R2 + R3 + R4}.$$

Even if $+V_S$ is as high as 30 V, the resulting gate-source voltage of around 0.6 V will be too low to switch the MOSFET on again. Consequently, both transistors remain off until the switch contacts open.

The circuit in Figure 2 is latched on by momentarily closing the push switch when C1 has charged up to $+V_S$, which causes OUT (-) to drop to 0 V as Q2 immediately turns on, rapidly followed by Q1. A momentary switch closure would allow C1 to discharge to zero via R2 after the contacts open. However, if the switch is held closed, Q2's gate voltage will be defined by the potential divider formed by R2 and R3. Since Q1 is saturated, the junction of R3-R4 at Q1's collector will be pulled up to $+V_S$, and the junction of R1-R2 will be pulled down to 0 V via Q2. Therefore, with the switch held closed, Q2's gate-source voltage is given by:

$$V_{GS} = \frac{(+V_S) \times R2}{R2 + R3} = 0.99(+V_S).$$

Consequently, provided the supply voltage is at least equal to Q2's gate-source threshold voltage, both Q2 and Q1 will remain on until the switch contacts open.

Both circuits provide an inexpensive way of deriving a latching function from a momentary switch and, just like a mechanical latching switch, the quiescent (unlatched) power dissipation is zero.

References:

1. Smith, Anthony H., "Latching power switch uses momentary-action pushbutton", EDN, October 28, 2004.
2. Schelle, Donald, "Electronic circuit replaces mechanical push-push switch", EDN, September 28, 2006.
3. Bhandarkar, Santosh, "Single-IC-based electronic circuit replaces mechanical switch", EDN, March 15, 2007.