

Рис.3.80 Типичные характеристики для схемы на рис.3.79 [49]

ZCS (ключ  $S5$ ), 2 направления напряжения, 1 направление тока:

1. Активное включение ZCS (IGBT) в момент  $t_3$ : при этом потери мощности уменьшены эффективностью последовательной коммутационной индуктивностью  $L_K$  (в этом случае внутренняя индуктивность трансформатора; быстрая коммутация напряжения к  $L_K$  и ограничение  $di/dt$ ).

2. Пассивное выключение ZCS сопровождается коммутационными потерями при обратном восстановлении  $di/dt$  последовательного диода в момент  $t_9$ . Ток в связанном IGBT падает до нуля. В этот момент потерь при коммутации в IGBT не происходит.

3. Обратное направление напряжения в ZCS между  $t_{11}$  и  $t_{13}$ , из-за процесса коммутации в DC/AC преобразователе: напряжение на ключе, которое поступает из последовательно включенного с IGBT диода, подается с  $dv/dt$ , определенной преобразователем. Потери мощности в IGBT вызваны процессом разряда сохраненного в  $p^-$ -ячейке заряда. Потери в основном определены разностью времени  $t_H$  (вызванное время выхода из синхронизма) а также временем жизни носителей заряда. Если время выхода из синхронизма очень мало, возникновение потерь можно сравнить с мощностями, рассеиваемыми при хвостовом токе и жесткой коммутации.

### 3.8.3.2 Требования к полупроводниковым ключам и их драйверам

ZVS:

### Силовые полупроводниковые приборы:

- иметь возможность активного выключения и хорошего уменьшения мощности при выключении,
- для IGBT:     - короткое время жизни носителей заряда,  
                  - минимальное влияние температуры перехода на хвостовой заряд и время жизни носителей заряда,
- малые выбросы напряжения во время включения при модуляции проводимостью с нулевым напряжением включения и подаваемым  $di/dt$ ,
- поскольку ZVS-диоды не выключаются с обратным восстановлением  $di/dt$  и в то же время принимают обратное напряжение, то требования к их параметрам обратного восстановления малы, по сравнению с жесткой коммутацией.

### Схема драйвера:

Схема драйвера должна отвечать следующим минимальным требованиям:

- активное выключение IGBT/MOSFET и
- контроль напряжения на ключе и пассивное включение ZVS с  $v_s \approx 0$  В.

### Улучшенный ZVS режим:

Продолжительность процесса емкостной коммутации можно выразить так:

$$t_{кc} \approx (C_K \cdot v_K)/i_L$$

- где:      $C_K$ : коммутационная емкость (емкость уменьшения мощности),  
           $v_K$ : коммутационное напряжение,  
           $i_L$ : ток нагрузки, который будет коммутироваться.

С малыми токами нагрузки процесс коммутации в мощных преобразователях может длиться слишком долго, что может подвергнуть опасности работу схемы. Этого можно избежать с применением улучшенных ZVS ключей, которые прекратят процесс коммутации после установленного максимального времени коммутации путем активного включения к не полностью разряженной коммутационной емкости, что приведет, однако, к возросшим потерям при коммутации.

На рис.3.81 показан принцип работы улучшенного ZVS.

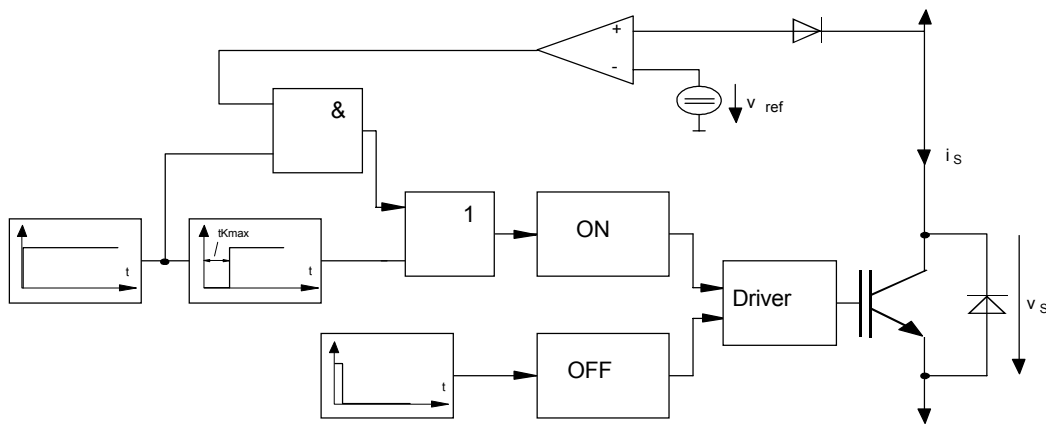


Рис.3.81 Принцип улучшенного ZVS

ZVS:

Силовые полупроводниковые приборы:

- имеют возможность активного включения и хорошего уменьшения мощности при включении,
- малую емкость силового полупроводника
- для IGBT:
  - короткое время жизни носителей заряда,
  - минимальное влияние температуры перехода на хвостовой заряд и время жизни носителей заряда,
- короткий период динамического насыщения при включении
- для диодов: малый заряд обратного восстановления.

Схема драйвера:

Схема драйвера должна отвечать следующим минимальным требованиям:

- активное включение IGBT/MOSFET и
- контроль тока через ключ и пассивное выключение ZCS с  $i_s \approx 0$  А.

Улучшенный ZCS режим:

Продолжительность процесса индуктивной коммутации можно выразить так:

$$t_{ki} \approx (L_K \cdot i_L) / v_K$$

где:  $L_K$ : коммутационная индуктивность (индуктивность уменьшения мощности),

$v_K$ : коммутационное напряжение,

$i_L$ : ток нагрузки, который будет коммутироваться.

С малыми коммутационными напряжениями или большими токами нагрузки процесс коммутации в мощных преобразователях может длиться слишком долго, что может подвергнуть опасности работу схемы. Этого можно избежать с применением улучшенных ZCS ключей, которые прекратят процесс коммутации после установленного максимального времени коммутации путем активного выключения к не полностью разряженной