

# Ограничители бросков напряжения (ТВU™) Bourns®

## Быстродействующие электронные ограничители тока

### ИСТОРИЯ ВОПРОСА

#### Угроза бросков напряжения

Защита от бросков напряжения применяется для исключения выхода напряжений и токов, поступающих на электронные системы и оборудование, за пределы их безопасных значений. Эти броски напряжений и токов могут быть вызваны короткими замыканиями цепей, грозовыми разрядами или авариями в системах электроснабжения и обычно поступают в электронные системы через входные провода. Броски напряжения могут быть гальванически связаны с элементами системы, как это происходит в случае прямого попадания в неё грозового разряда, хотя могут быть и следствием небрежного подключения проводов к системе питания или результатом увеличения потенциала земли. Броски могут быть вызваны и ёмкостной связью, которая возникает, когда система обработки данных используется вблизи высоковольтных линий электропередачи. Броски могут возникать и при индуктивной связи, если провода системы расположены параллельно с шинами, через которые протекают большие токи, например, питающие мощные электромоторы.

Размах и вид переходных процессов, которые могут возникать в системе, варьируются в широких пределах. Однако, в общем можно выделить следующие случаи:

**1. Грозовой разряд.** Хотя прямое попадание молнии может возбудить напряжение в миллионы вольт при токе в тысячи ампер, электронное оборудование редко подвергается таким воздействиям. Наибольшее воздействие грозовые разряды могут оказать на телекоммуникационное оборудование через линии связи. Эти линии рассчитаны на напряжение до 5 кВ и токи порядка 1 кА. Таким образом, в подавляющем большинстве случаев, когда вероятность прямого попадания молнии в оборудование мала, напряжение и ток ограничены на уровне 5 кВ и 1 кА при прямом попадании грозового

разряда в линию передачи данных или при индуктивной наводке.

**2. Помехи от сетей электроснабжения.** Хотя этот вид помех и может сопровождаться весьма высокими значениями напряжения и тока, они часто ограничены по продолжительности. Броски напряжения вызываются авариями в сетях электроснабжения, соединённых с информационными системами (обычно индуктивно, как следствие больших бросков тока при коротком замыкании). Фактически во всех современных линиях электропередачи эти аварии очень быстро завершаются при срабатывании автоматических выключателей и другого защитного оборудования. Этот вид возмущений проявляется в виде последовательности импульсов с частотой следования, равной частоте сетевого напряжения, и редко продолжаются больше секунды. Моделируется этот вид возмущений как переменное напряжение 600 В (rms) и продолжительностью до 1 с.

**3. Попадание сетевого напряжения на шины передачи данных.** Попадание сетевого напряжения на шины передачи данных, напротив, характеризуется низким воздействующим напряжением, но могут длиться очень долго. Они часто вызываются ошибками при обслуживании или авариями кабельных сетей и могут создать ток средней величины (до 25 А) в течение длительного периода времени (например, 15 минут). Для напряжения при этом характерен уровень сетевого напряжения (100...240 В (rms)).

**4. Возрастание потенциала земли.** Возрастание потенциала земли может быть разделено по причине происхождения на два вида: 1) как результат аварии в энергосистеме и 2) как результат грозового разряда. В обычных промышленных установках, когда токи короткого замыкания силовой системы ограничены по величине автоматическими выключателями и предохранителями, возрастание потенциала земли не представляет собой заметного риска.



## ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Значительным становится риск возрастания потенциала земли, только когда система заземления имеет серьезные отклонения от требований стандартов или там, где используются мощные энергопередающие системы, такие, как генерирующие электростанции или установки распределения электроэнергии, в областях промышленности с высокой потребляемой мощностью и вблизи электрических транспортных систем (железнодорожной с электрической тягой). В таких условиях этот тип бросков напряжения должен тщательно учитываться, и требуется проведение экспертного исследования относительно риска и размера возмущений. Возрастание потенциала земли вследствие прямого попадания грозового разряда в здание, в котором расположено оборудование, или в его непосредственной близости. Такие происшествия очень редки, если не брать в расчёт установки, особенно уязвимые из-за их расположения или чрезмерной высоты (например, антенны базовых станций сотовой связи). Воздействие возрастания потенциала земли на оборудование может быть очень сильным, и в местах с высоким сопротивлением земли могут создаваться значительные токи при грозовых разрядах.

5. Все остальные формы переходных процессов обладают значительно меньшей энергией и не создают дополнительного риска для оборудования, если его защита сконструирована так, чтобы противостоять воздействиям, детально описанным выше.

## Традиционные системы защиты

Существует два основных метода выполнения защиты от бросков напряжения, а именно, блокировка и шунтирование. Почти все современные защитные схемы основаны на использовании метода шунтирования по следующим причинам:

1. Существуют недорогие приборы, способные шунтировать аварийные токи в сотни ампер и тысячи вольт.
2. Недорогие приборы для блокировки сотен ампер и тысяч вольт редки, если они вообще существуют.

Таким образом, в обычных схемах защиты используются шунтирующие приборы, которые отклоняют ток от защищаемых цепей. Однако шунтирующие приборы имеют ограничения, влияющие на их способность самостоятельно защищать электронное оборудование. Электронное оборудование может быть повреждено напряжением в десятки вольт и током в сотни миллиампер, если такое воздействие продлится заметное время (дольше чем микросекунда). Таким образом, для защиты оборудования требуются шунтирующие устройства, которые: 1) могут среагировать достаточно быстро, чтобы обеспечить более низкие значения действующих факторов на защищаемое оборудование, чем указаны выше, и 2) могут замкнуть цепь и защитить интерфейс от бросков тока порядка 1000 А. С учетом того, что бросок может развиваться за несколько микросекунд, это довольно сложная задача.

Некоторые из защитных приборов, способных выполнять функцию первичной защиты, в частности, полупроводниковые приборы, обладают достаточным быстродействием, однако их нагрузочная способность по току ограничена. Кроме того, полупроводниковые приборы, подходящие для первичной защиты, обладают большой паразитной ёмкостью (обусловленной большими физическими размерами структур), что накладывает ограничение на рабочий диапазон частот. Не полупроводниковые защитные приборы, такие как газовые разрядники, не вносят паразитной ёмкости в цепь и могут выдерживать очень большие токи (измеряемые десятками кА). Однако эти приборы хуже по быстродействию и не могут самостоятельно обеспечить защиту из-за высокого падения напряжения. Таким образом, традиционные системы защиты должны состоять из нескольких каскадов, выполненных на этих приборах. Обычно первым каскадом, благодаря способности выдерживать большие токи, является газовый разрядник, а за ним, для достижения быстродействия, устанавливается второй каскад, выполненный на тиристоре.



## ИСТОРИЯ ВОПРОСА

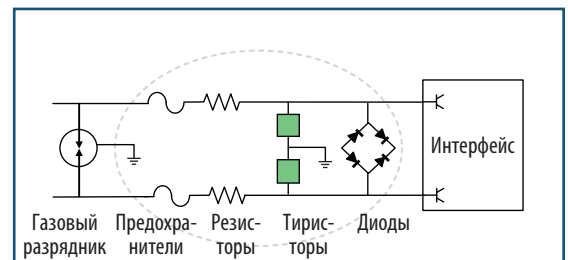
### Координация работы защитных устройств

Когда в качестве шунтирующих защитных устройствах первого и второго каскадов используются газовый разрядник и тиристор, на практике оказывается сложно скоординировать их работу. При броске напряжения быстродействующий второй каскад защиты может сработать первым, после чего он будет ограничивать напряжение. Зачастую, чтобы защитить оборудование, второй каскад имеет сравнительно низкое напряжение срабатывания. Поэтому он не позволит включиться первому мощному каскаду на газовом разряднике, срабатывающему при высоком напряжении. В этих условиях велика вероятность повреждения второго защитного каскада до включения газового разрядника.

Эта проблема разрешается путём использования сложного процесса взаимной координации работы каскадов. Координация достигается введением импеданса между первым и вторым каскадами, гарантирующим, что напряжение на первом каскаде защиты, обусловленное током второго каскада, достаточно для его включения. Координация считается инженерно правильной, когда первый каскад включается после второго, но до того, как ток разрушит второй каскад. Импеданс в системе координации может быть резистивным, ёмкостным, индуктивным, нелинейным или комбинацией их всех. Критически важен подходящий выбор элементов.

Самый простой выбор — это большой резистор, гарантирующий, что малый ток, протекающий через второй каскад, обеспечит напряжение на первом каскаде, достаточного для его включения. Однако резисторы с большим сопротивлением вносят заметные потери в пути передачи данных, зачастую неприемлемые. Также полезны ёмкости и индуктивности, но их импеданс зависит от частоты и поэтому схема координации с такими элементами будет

работать только в ограниченном диапазоне частот броска напряжения. Можно также использовать нелинейные резисторы для разработки различных координационных схем, основанных на дифференциации бросков напряжения по длительности. Например, низкочастотные броски напряжения, которые продолжаются длительное время, вызывают изменение импеданса координационной схемы от низкого значения к высокому, ограничивая тем самым протекание тока во второй каскад и включая первый (так работают РТС-термисторы). Обычная типовая схема защитного устройства для старых телефонных систем приведена на **Рис. 1**.



**Рис. 1.** Обычная схема защитного устройства. Кругом обведены элементы, входящие в схему координации и второй каскад защиты.

## ИСТОРИЯ ВОПРОСА

В действительности выбор лучшей схемы координации требует глубокого понимания следующих аспектов:

1. Угроза бросков напряжения.
2. Характеристики всех компонентов, входящих в узлы защиты и координации (напряжение, ток, мощность, энергия, время) в дополнение к условиям, при которых элементы защиты срабатывают или нет.
3. Устойчивость защищаемого интерфейса к воздействию напряжения и тока (напряжение, ток, время).
4. Характеристики линии передачи данных (полоса частот, максимальные допустимые потери).
5. Взаимодействие между каскадами в защитном устройстве.

Отсюда возникают проблемы. Временные и частотные характеристики координационного устройства делают эту схему сложной для конструирования с необходимой степенью уверенности. Следовательно, для получения информации о защитной конструкции каждой конкретной системы надо проводить испытания, требования к которым следует создавать с учётом особенностей применения систем и существующих стандартов. Кроме того, фактически все завершённые разработки имеют те или иные «слабые места», например, пониженную устойчивость к блуждающим токам, или к броскам большой мощности, или броскам с определённым спектром напряжения, или к броскам, следующим с определённой частотой, и эти «слабые места» могут вызвать аварии при эксплуатации, увеличивающие издержки на ремонт и снижающие надёжность системы.



## ИДЕАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Вспомним, что второй каскад защитного устройства требуется только для предотвращения попадания в нагрузку энергии броска напряжения, просочившуюся через первый каскад.

По определению, максимальное напряжение импульса просочившейся энергии должно быть меньше, чем напряжение собственно броска. В противном случае первый каскад защиты вообще не выполняет свою функцию. Таким образом, второй каскад, который блокирует, а не шунтирует это более низкое, управляемое и весьма предсказуемое напряжение должен быть очень эффективным.

Требования к этому идеальному блокирующему прибору очевидны:

1. Так как этот прибор требуется для блокирования просочившейся через первый каскад защиты энергии, он должен представлять собой компонент, включаемый в цепь последовательно. А как последовательно включаемый компонент, он должен реагировать на протекающий через него ток, а не напряжение, приложенное к цепи интерфейса.

2. Этот прибор должен иметь предсказуемый, стабильный и низкий ток включения (т. е. перехода из проводящего состояния в непро-

водящее) для обеспечения эффективной защиты следующего за защитным узлом чувствительного оборудования.

3. Он должен быть очень быстросрабатывающим (включаться за время менее 10 нс) для защиты оборудования от бросков напряжения со скоростью нарастания до 5 кВ/мкс, как это происходит при грозовых разрядах и возрастании потенциала земли.

4. Он должен иметь низкий импеданс (резистивный, ёмкостный и индуктивный) чтобы не оказывать влияние на прохождение сигналов при нормальной работе системы.

5. В режиме блокировки он должен иметь очень большой импеданс, чтобы на нём не рассеивалась заметная энергия при бросках напряжения большой продолжительности.

6. Он должен восстанавливаться после окончания броска напряжения, чтобы система могла продолжить нормальную работу.

Кроме того, по практическим и экономическим соображениям, он должен быть малого размера и недорогим. Всем этим требованиям отвечают ограничители бросков напряжения TBU (Transient Blocking Unit).



## КАК РАБОТАЕТ TVU

### Общие сведения

В приборах TVU для защиты использован подход, отличный от традиционного. При этом сохраняется необходимость наличия первого каскада защиты, шунтирующего выбросы тока. Однако TVU эффективно заменяет второй каскад защиты и координационные цепи, одним компонентом. Приборы TVU были разработаны в соответствии с требованиями к идеальному защитному устройству, описанными на предыдущей странице. Чтобы проще понять принцип работы TVU, полезно представить его состоящим из двух узлов: ограничителя тока и размыкателя напряжения.

Как это будет показано ниже, TVU реагирует и на перегрузки по току, и на перегрузки по напряжению.

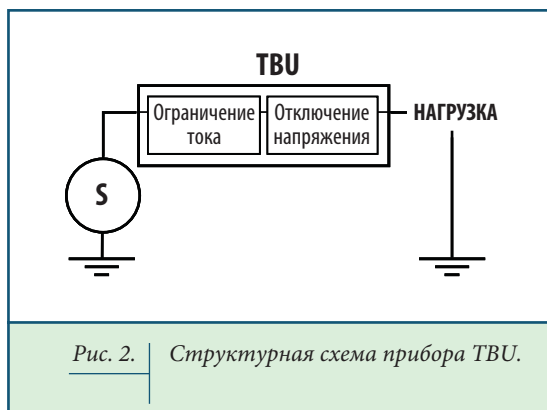


Рис. 2. Структурная схема прибора TVU.

### Перегрузка по току

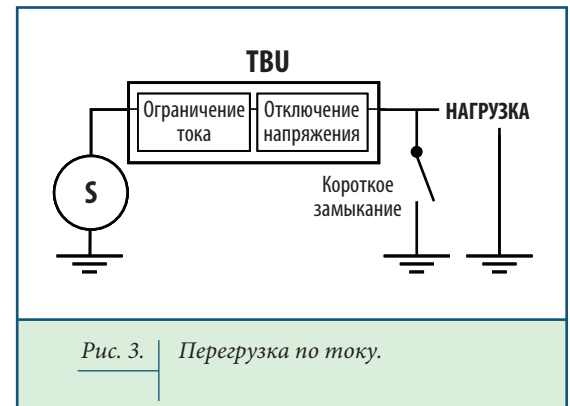


Рис. 3. Перегрузка по току.

При коротком замыкании, происходящем в момент времени 1 (Рис. 4), нарастание тока до уровня ограничения  $I_{out}$  происходит в момент времени 2 (~10 нс). В этот момент времени начинает работу узел размыкания напряжения и в момент времени 3 (~1 мкс) нагрузка отключается от воздействия броска напряжения. Всё дальнейшее время существования броска напряжения (период 4 на Рис. 4) прибор TVU остается в состоянии защиты с очень маленьким током и напряжением на нагрузке.

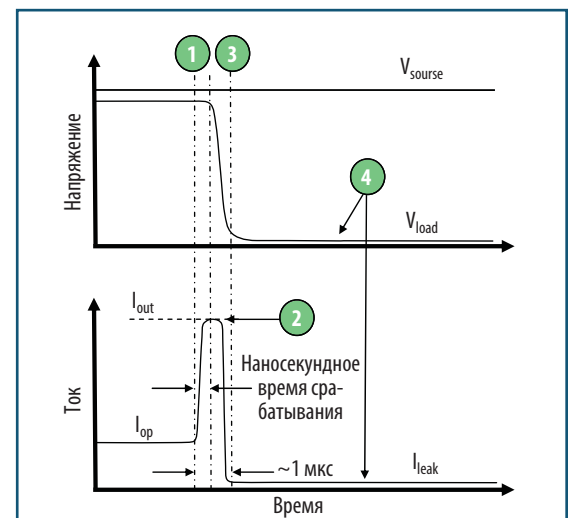


Рис. 4. Реакция TVU на перегрузку по току.

## КАК РАБОТАЕТ ПРИБОР ТВУ

### Перегрузка по напряжению

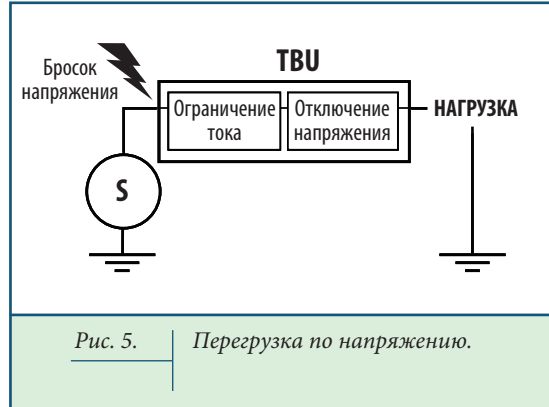


Рис. 5. Перегрузка по напряжению.

Грозовой разряд или замыкание на силовые электропровода происходит в момент времени 1 (Рис. 6), что приводит к росту напряжения и тока до тех пор, пока ограничитель тока не ограничит ток на уровне  $I_{out}$  в момент времени 2 (~10 нс). В этот момент начинает работу узел отключения напряжения и в момент времени 3 (~1 мкс) нагрузка отключается от воздействия броска напряжения. Всё дальнейшее время существования броска напряжения (период 4 на Рис. 6) прибор ТВУ остается в состоянии защиты с очень маленьким током и напряжением на нагрузке.

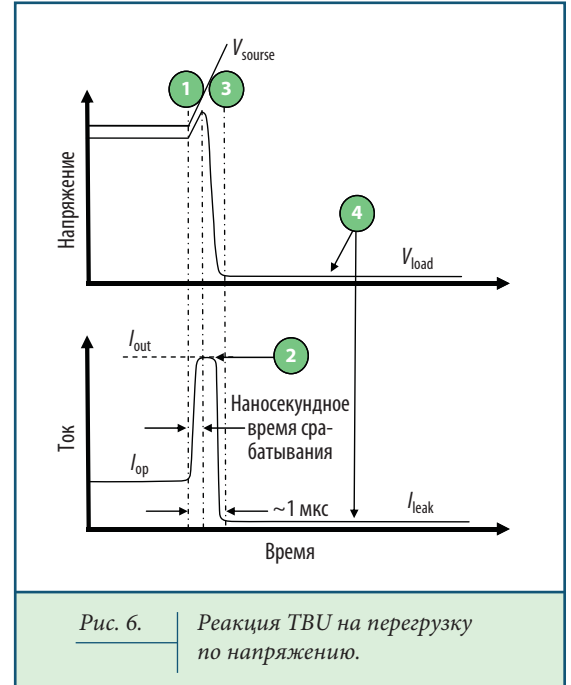


Рис. 6. Реакция ТВУ на перегрузку по напряжению.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ TBU

### Результаты испытаний на воздействие импульсов напряжения

Приведённые ниже результаты испытаний демонстрируют отклик приборов TBU на воздействие грозовых разрядов с высокой скоростью нарастания напряжения. Испытания проводились с использованием генератора импульсов напряжения с передним фронтом 10 мкс, задним фронтом 1000 мкс и амплитудой 1200 В. Испытания проводились без шунтирующих защитных приборов (газовых разрядников, тиристоров или варисторов).

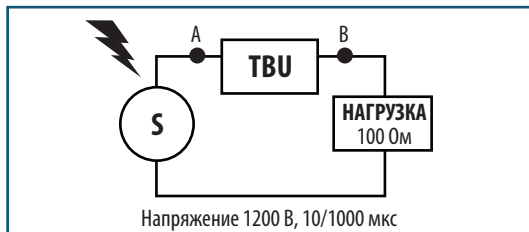


Рис. 7. Схема при проведении испытаний на воздействие импульсов напряжения.

На Рис. 8 нижняя осциллограмма (красного цвета) соответствует входному импульсу напряжения, а верхняя (синего цвета) — напряжению на выходе TBU. Прибор TBU ограничивает ток на уровне ~280 мА (т. е. на нагрузке 100 Ом выделяется 28 В), а затем отключает нагрузку до окончания действия входного напряжения. Пиковое напряжение на TBU непосредственно после отключения нагрузки составляло ~1200 В.

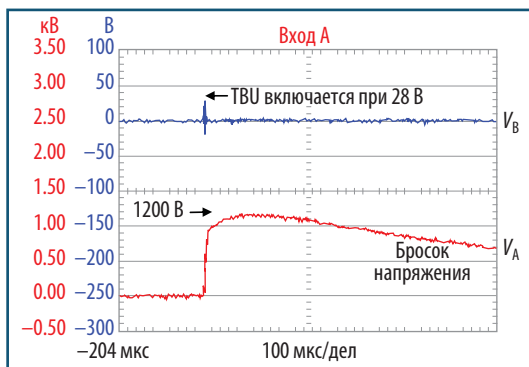


Рис. 8. Осциллограммы при проведении испытаний TBU на воздействие импульсов напряжения.

### Перегрузка по переменному напряжению

Ниже рассмотрены результаты испытаний TBU на воздействие переменного напряжения.

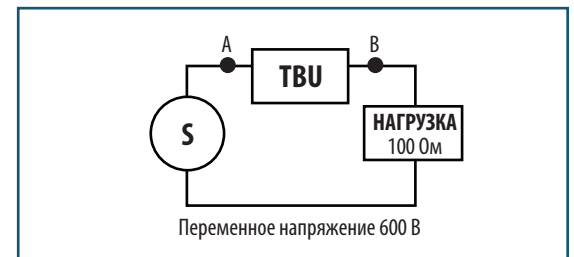


Рис. 9. Схема при проведении испытаний на воздействие переменного напряжения.

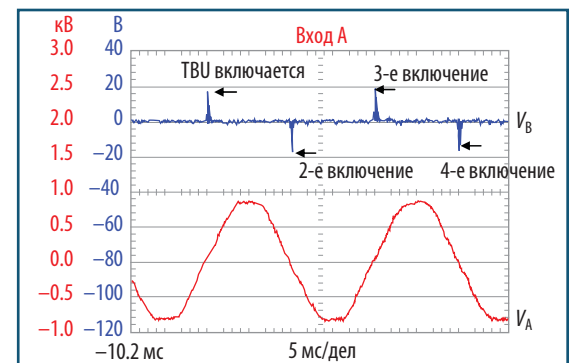


Рис. 10. Осциллограммы при проведении испытаний TBU на воздействие переменного напряжения 600 В (rms).

При подаче переменного напряжения прибор TBU реагирует на увеличение тока и переходит в непроводящее состояние, защищая нагрузку. В этом состоянии он находится в течение времени прохождения полуволны высокого входного напряжения. В моменты каждого пересечения входным напряжением нуля TBU выключается за микросекунду, а затем вновь включается, защищая нагрузку от воздействия высокого входного напряжения другой полярности. Как только подача высокого переменного напряжения прекращается, TBU возвращается в нормальное состояние с низким импедансом.



## РЕЗЮМЕ

### Блокировка, а не шунтирование

При разработке защитных устройств, обычный опыт подсказывает, что не существует приборов, которые бы осуществляли защиту методом блокировки и были доступны по цене. В результате, большинство схем защиты от бросков напряжения выполнены на разнообразных приборах шунтирующего типа.

Однако токи, которые могут протекать при выбросах напряжения, могут быть весьма значительными (сотни ампер) и могут оказывать своё воздействие длительное время (от одной секунды до часов). Высокий уровень тока совместно с продолжительностью его воздействия создают большую нагрузку на защитные цепи при использовании всех типов защитных приборов, включая газовые разрядники, варисторы и тиристоры.

Однако электронные ограничители тока (TBU™) опровергли традиционные представления. Как следствие, сейчас стало возможно эффективно блокировать броски напряжения и защищать чувствительное оборудование от воздействия высоких уровней энергии при бросках напряжения.

Для получения более подробной информации о приборах TBU, а также о другой продукции компании Bourns для защиты цепей обратитесь на сайт

[www.bourns.com](http://www.bourns.com)

COPYRIGHT© 2009, BOURNS, INC. • 08/09 e/FU0936

«TBU» — зарегистрированная торговая марка компании Bourns, Inc.

«Bourns» — зарегистрированная торговая марка компании Bourns, Inc. в США и других странах.

### Заключение

Приборы TBU обеспечивают блокирующую защиту и от грозových разрядов, и от воздействия сетевого напряжения. Преимущества приборов TBU:

- сочетание в одном приборе защиты от перегрузки по току и по напряжению;
- чрезвычайно высокое быстродействие;
- высокие значения блокирующих токов и напряжений;
- точные значения ограничения выходных напряжений и токов;
- широкополосность;
- малые размеры.

Всё это позволяет получить защитные устройства, превосходящие требования стандартов Telcordia GR-1089 и ITU K.20/K.21, обеспечивает автоматическую координацию защиты и гигагерцовую скорость передачи данных наряду с минимальной занимаемой площадью на печатной плате.

Приборы TBU позволяют создать семейство простых защитных устройств с превосходными характеристиками.

