Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXX1У, 1979 г.

# ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ В ЦЕПЯХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

К.А.АНАНЬЕВ, С.А.КОНОВАЛОВА,
Н.В.НЕФЕДОВА

Существующие в настоящее время тиристорные схемы, имеющие гальваническую связь с силовой частью, имеют ряд недостатков: возможность нежелательного отпирания тиристоров, появление обратной связи, связь низковольтной и высоковольтной цепей.

В схемах тиристорных регуляторов напряжения в ряде случаев необходимо устранение взаимного влияния управляющих и управляемых цепей.

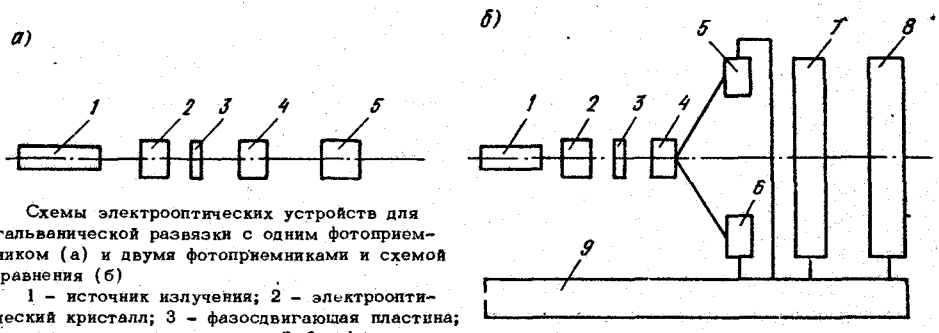
Схемы управления, в которых управляющие и управляемые цепи связаны индуктивно, также не лишены недостатков. В них возможны искажения передаваемого сигнала управления, появление обратной реакции с выхода трансформатора на вход, а для передачи импульсов большой длительности нужны трансформаторы *больших габаритов и веса.*

Переход на электрооптические схемы управления тиристорами обеспечит повышение помехозащищенности, передачу сигналов управления с минимальными искажениями, а в ряде случаев - высокую степень микроминиатюризации и возможность интегрального исполнения.

Одним из наиболее перспективных направлений в разработке оптических схем управления тиристорами является создание лазерных систем [1-3]. В качестве источников в таких системах применяют полупроводниковые или газовые оптические квантовые генераторы. Эти системы обеспечивают высокую надежность и помехозащищенность управления тиристорами, малые фазовые сдвиги по тракту прохождения импульса.

В отечественной промышленности уже накоплен некоторый опыт работы лазерных систем управления тиристорами. Так, например, в 1972 г. на линии электропередачи Кашира-Москва были смонтированы и налажены устройства лазерной системы управления полупроводниковыми вентилями ПВУ-6.

Экспериментальные исследования показали, что лазерные системы управления удовлетворяют предъявляемым требованиям. Практически они обеспечивают отсутствие фазового сдвига, вносимого устройствами других систем управления.




Схемы электрооптических устройств для гальванической развязки с одним фотоприемником (а) и двумя фотоприемниками и схемой сравнения (б)

1 – источник излучения; 2 – электрооптический кристалл; 3 – фазосдвигающая пластина; 4 – поляризационная призма; 5, 6 – фотоприемники; 7 – схема сравнения; 8 – регулирующий блок; 9 – блок питания

В Ленинградском горном институте разработаны лазерные системы для гальванической развязки в цепях регуляторов напряжения в шахтной сети. Одна из них приведена на схеме,а. Линейно поляризованное световое излучение попадает на электрооптический кристалл 2 , к которому приложено регулируемое напряжение. Под действием электрического поля меняется показатель преломления кристалла, и между ортогонально поляризованными компонентами светового излучения возникает разность фаз, величина которой определяется приложенным напряжением и электрооптическими свойствами самого кристалла. Если номинальная величина регулируемого напряжения отличается от полуволнового, т.е. возникающая в кристалле разность фаз отличается от $\pi$ , то по ходу луча должна быть установлена дополнительная пластина, дающая такой сдвиг фаз $\Delta_П$ , чтобы суммарный сдвиг фаз, возникающий в пластине и электрооптическом кристалле, был равен полуволновому, т.е.

$$\Delta_К \pm \Delta_П = \pi(2k+1) ,$$

где $\Delta_К$ и $\Delta_П$ – сдвиг фаз соответственно кристалла и фазосдвигающей пластины; $k$ – целое число.

В этом случае линейная поляризация светового излучения после прохождения кристалла и пластины меняет свою ориентацию на ортогональную и световое излучение задерживается поляризационной призмой 4 . При отклонении регулируемого напряжения от номинального сдвиг фаз между компонентами излучения, возникающий в кристалле и пластине, уже не равен полуволновому, и линейно поляризованное излучение оказывается поляризованным эллиптически. Одна из ортогонально поляризованных компонент пропускается поляризационной призмой и попадает на фотоприемник 5 , на выходе которого появляется электрический сигнал, пропорциональный величине отклонения регулируемого напряжения от номинальной величины. Этот сигнал поступает на вход схемы, включающей тиристорный регулятор напряжения.

Электрооптические кристаллы, применяемые в устройствах для регулировки напряжения, могут быть разных типов. В настоящее время наиболее широко известны кристаллы дигидрофосфата калия КДР, обладающие как линейным, так и квадратичным электрооптическим эффектом. Однако эти кристаллы гигроскопичны и не выдерживают высокой температуры, что не позволяет наносить токопроводящие покрытия непосредственно на их поверхность. Применение в качестве прозрачных электродов плоскопараллельных стеклянных пластин с токопроводящими покрытиями приводит к падению напряжения в слое, соединяющем электрод с кристаллом (в воздухе или оптическом клее). В Институте кристаллографии АН СССР разрабатываются способы выращивания электрооптических кристаллов, по своим свойствам и геометрическим размерам пригодных для использования в регуляторах напряжения: $ZnSBi_{12}TiO_{20}$, молибдата гадолиния и молибдата тербия [4, 5]. Эти кристаллы являются электрооптическими, т.е. обладают способностью под действием приложенного напряжения вызывать сдвиг фаз между компонентами проходящего через кристалл линейно поляризованного светового излучения.

Если номинальное напряжение регулируемой цепи $U_н$, а сдвиг фаз, возникающий в кристалле,

$$\Delta_к = \frac{\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} U_н ,$$

где $n_0$ - показатель преломления обыкновенного луча; $r_{63}$ - электрооптический коэффициент; $\lambda$ - длина волны светового излучения, то при $\Delta_к \neq \pi$ по ходу луча устанавливают фазосдвигающую пластину, толщиной

$$t = \frac{(2\pi k \pm \Delta_к)\lambda}{2\pi(n_0 - n_e)} ,$$

где $n_e$ - показатель преломления необыкновенного луча.

Так, например, при номинальном напряжении $U_н$ = 220 В сдвиг фаз в кристалле КДР $\Delta_к$ = 0,002, а толщина фазосдвигающей кварцевой пластины $t$ = 0,33 мм.

В экспериментальной установке в качестве поляризационной призмы использована призма Глана, фотоприемником служил фотоэлемент Ф-5. Установка была рассчитана на номинальное напряжение 100 В. Толщина кварцевой пластины 0,15 мм при использовании кристалла КДР и 0,1 мм с кристаллом $ZnS$. К сожалению, исследование первых образцов кристалла $ZnS$ не дало положительных результатов, так как распределение сдвига фаз по сечению луча оказалось неравномерным из-за неоднородности кристаллов, т.е. на выходе фотоприемника не было сигнала, соответствующего номинальному напряжению.

Таким образом из двух испытанных в экспериментальной установке кристаллов пока только один - кристалл КДР - пригоден для регуляторов напряжения. Для повышения точности и чувствительности регулятора в схему лазерного устройства можно ввести два фотоприемника и схему сравнения сигналов, поступающих с выхода фотоприемников (схема,б). Это устройство работает следующим образом. На электрооптический кристалл 2, как и в предыдущей схеме, подается регулируемое напряжение. Если величина этого на-

пряжения отличается от четвертьволнового, т.е. возникающая в кристалле разность фаз отличается от $\pi/2$, то вводится фазосдвигающая пластина *3*, толщина которой определяется из соотношения

$$t = \frac{\lambda\left[\frac{\pi}{2}(2\kappa+1) - \Delta_\kappa\right]}{2\pi(n_0 - n_e)}.$$

При этом линейная поляризация светового излучения источника *1* после прохождения кристалла *2* и фазосдвигающей пластины *3* преобразуется в циркулярную. Поляризационная призма *4* разделяет циркулярное поляризованное излучение на две ортогонально поляризованные составляющие одинаковой интенсивности.

Если контролируемое напряжение отличается от номинального, то суммарный сдвиг фазы в пластине и кристалле будет отличаться от четвертьволнового, и поляризация луча на выходе пластины *3* окажется эллиптической. В зависимости от того, будет ли напряжение на кристалле больше или меньше номинального, будет меняться ориентация эллипса, определяемая соотношением его осей. В этом случае интенсивность ортогонально поляризованных лучей на выходе призмы *4* уже не будет одинаковой. Если напряжение на кристалле окажется больше номинального, то интенсивность составляющей, попадающей на один из фотоприемников, например, фотоприемник *5*, увеличивается, а интенсивность второй составляющей, попадающей на фотоприемник *6*, уменьшается. Если напряжение на кристалле стало меньше номинального, то составляющая излучения, попадающая на фотоприемник *5*, уменьшится, а составляющая, попадающая на фотоприемник *6*, увеличится. Электрические сигналы с выходов фотоприемников подаются на вход схемы сравнения *7*, которая выдает в регулирующий блок *8* сигнал на включение схемы увеличения или уменьшения регулируемого напряжения.

Использование предлагаемого устройства не вносит искажений в форму регулируемого напряжения.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Смирнов Г.В. Применение инжекционных лазерных диодов в системах управления полупроводниковыми блоками преобразовательных мостов электропередачи постоянного тока. – Тр. НИИ постоянного тока, 1973, вып. 19.

2. Смирнов Г.В., Клочка Р.С. Испытание лазерной системы управления высоковольтными тиристорными вентилями на электропередаче постоянного тока Кашира–Москва. – Тр. НИИ постоянного тока, 1973, вып. 23.

3. Запольский А.К. Обзор докладов международной конференции по оптоэлектронике и применениям лазеров „Лазер-75". – Квантовая электроника, 1977, т. 4, № 8.

4. Ломова Л.Г., Сонин А.С. Спонтанный электрооптический эффект в кристаллах сегнетовой соли. – Физика твердого тела, 1970, т. 12, вып. 11.

5. Вайнштейн К.А. Кристаллы в современной технике. – Вестник АН СССР, 1971, № 1.