

# КАНАЛЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПОЛНЫМ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ РАЗДЕЛЕНИЕМ МЕТОДОМ ВОЛС

М. Биелик, А. Ежикович  
Институт ядерных проблем  
05-400 Польша

## Аннотация

В работе проведен анализ применения каналов управления с полным гальваническим разделением методом ВОЛС (волоконно-оптической линии связи). Разработанные системы управления обеспечивают полную электрическую изоляцию между управляемой установкой и центром управления. Применение метода ВОЛС исключает петли, возникающие в условиях совместного заземления нескольких импульсных установок, и наводки, возникающие между каналами управления. Полная изоляция между установкой и центром управления гарантирует безопасную работу при большой разнице потенциалов.

## Выбор метода гальванического разделения

В оптоэлектронной системе управления сигналы передаются фотонными пучками, нечувствительными к влиянию электромагнитных полей. Применяемые оптоэлектронные системы экономны и могут работать с автономным питанием, что дает полную развязку от сети переменного тока.

В известных системах управления с гальваническим разделением применялась, главным образом, оптранная техника, где соединительные кабели разделялись через оптран. Современные оптраны имеют сопротивление изоляции 0.1 ТОм—100 ТОм и емкость внутренней связи порядка пФ. Типичное напряжение пробоя 1,5 кВ. Главные недостатки оптранов в системах управления: соединительные кабели не полностью экранированы (оптран не обеспечивает полную экранировку), оптраны находятся в области импульсных электромагнитных полей и существует возможность переноса наводок в центр управления. Поэтому в системах термоядерных импульсных установок находит все большее применение метод ВОЛС.

Функциональная схема канала управления импульсной установки показана на рис. 1. Блоки вре-

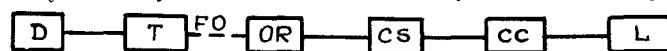


Рис. 1. Функциональная схема управления импульсной установкой методом ВОЛС:

D—блок задержки, T—оптозадатчик, FO—световод, OR—оптоэлектронный приемник, CS—система управления, CC—управляемый контур, L—управляемая импульсная нагрузка.

менной задержки снабжаются оптоэлектронным передатчиком T. Светодиоды подсоединенны к электролюминесцентным диодам через оптические разъемы. Со стороны установки оптический импульс в приемнике преобразуется в электрический.

## Выбор элементов оптоэлектронного канала управления

Излучателем света является электролюминесцентный диод (ЭД) или полупроводниковый лазер (ПЛ). Для применяемого типа излучателя существенным является: а) расстояние между T и OR (для малых рас-

стояний  $\leq 100$  м применяется главным образом ЭД); б) время передачи сигнала (для более строгих требований применяется ПЛ); в) тип световода и применяемых разъемов. Оптические разъемы (световод-световод) очень дороги, и для средней импульсной установки с 10 каналами управления стоимость разъемов слишком высока. Поэтому используются адаптированные разъемы (BNC), соединяющие ЭД или ПЛ, с одной стороны, и световод большого диаметра ( $\geq 1.2$  мм, для уменьшения апертурных потерь), с другой. Это решение, очевидно, временное, пока разъемы (световод-световод) не станут более доступными.

Адаптированные разъемы малокритичны к потерям, связанным с радиальным, аксиальным и угловым перемещениями оптической оси ЭД и световода.

Передаваемый световодом импульс расширяется. Его расплывание определяется тремя составляющими:

а) дисперсией в материале  $\Delta_{\text{tm}}$ :

$$\Delta_{\text{tm}} = (\Delta\lambda/\lambda) (\lambda/c)^2 v (d^2 n/d\lambda^2),$$

для  $\lambda = 0.85$  мкм  $\Delta_{\text{tm}}$  порядка 50 нс/км;

б) дисперсией в волноводе  $\Delta_b \sim \phi_0 = 20 \div 30$  нс/км;

в) дисперсией, возникающей из размытия сигнала:

$$\Delta_{\text{cp}} = (2n/c) L (\Delta\lambda/\lambda) \Delta n,$$

причем  $\Delta\lambda/\lambda$  для ЭД =  $4 \cdot 10^{-2}$  и для ПЛ =  $2.5 \cdot 10^{-3}$ , так что для  $L = 1$  км  $\Delta_{\text{cp}} \sim 5$  или 50 нс.

Полное расширение импульса равно  $\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{tm}}^2 + \Delta_b^2 + \Delta_{\text{cp}}^2}$  и ограничивает передачу для частот, больших 100 МГц. Общая формула, описывающая ослабление светового импульса в канале оптической передачи, имеет вид:

$$B_{\text{пол}} = B_{\text{ап}} + B_{\text{уп}} + B_{\text{фп}} + B_{\text{отр}} + B_{\text{погр.}},$$

где  $B_{\text{ап}}$ —апертурные потери, связанные с несогласованием апертур излучателя и световода;  $B_{\text{уп}}$ —потери упаковки, связанные с тем, что лишь часть торца заполнена волокнами, передающими свет;  $B_{\text{фп}}$ —френелевские потери от отражения света от торцов световода;  $B_{\text{отр}}$ —потери, связанные с элементарным отражением света на границе;  $B_{\text{погр.}}$ —потери поглощения в материале световода. Три первых слагаемых не зависят от длины световода. Слагаемые  $B_{\text{отр}}$  и  $B_{\text{погр.}}$  пропорциональны его длине. Потери  $B_{\text{отр}}$  относительно малы (0.5 дБ/км), и для 100 м отрезков ими можно пренебречь.

## Технические применения

Разработанная система управления с оптоэлектронной развязкой была применена в следующих больших импульсных установках:

- плазменный фокус с энергией 360 кДж;
- ТЕА-СО<sub>2</sub> лазер с нс импульсом энергии 6 кДж;
- генераторы импульсных магнитных полей;
- плазменный фокус с энергией 1 МДж.

Основные блоки системы управления:

D<sub>1</sub>—блок задержки, работающий в диапазоне 0.3—5.0 мкс с шаговым переключением

20×200 нс и плавной регулировкой 350 нс и смонтированный в модуле системы КАМАК.  $D_2$ —б.о., задержки,  $\tau_{\text{зад}}$ , в диапазонах  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  с с плавной регулировкой внутри выбранного диапазона работы.

Максимальный разброс времени задержки блоков  $D_1$  в  $D_2$  удовлетворяет условию

$$T_{\text{р.макс}} \leq T_{\text{зад}} \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$P_1$ —блок мультипликации, который после управления оптическим или электрическим импульсом вырабатывает 10 синхронных импульсов для запуска блоков временной синхронизации.

Все блоки управления имеют электрический выход для внутренних соединений и оптический выход (для подключения световода) для внешних соединений.

Вид крейта с 10 блоками типа  $D_1$ , блоком мультипликации  $P_1$  и блоком управления крейта показан на рис. 2. Световоды подключаются с задней стороны блоков управления. Батарея аккумуляторов  $\text{Ag-Zn}$

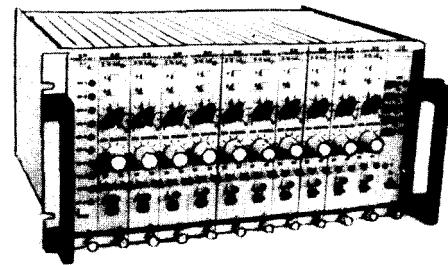


Рис. 2. Вид крейта с 10 блоками, блоком  $P_1$  и блоком управления крейта.

(20 Ач) и преобразователь  $^{\sim}4/100 + 12/-1^{\sim}$  В типа ZAN-10 находится за крейтом. Полная нагрузка крейта вместе с преобразователем не более 0.5 А (зависит от программы работы крейта). Все внешние соединения крейта реализованы световодами.

На рис. 3 показан оптоэлектронный приемник типа OR-1 с автономным питанием. В приемнике после пре-

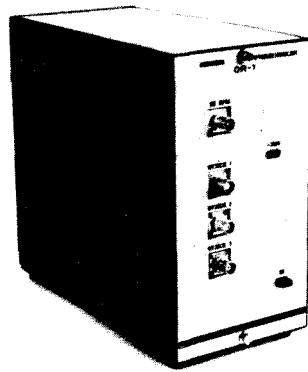


Рис. 3. Оптоэлектронный приемник типа OR-1 с автономным питанием.

образования оптического импульса в электрический вырабатываются 3 выходных импульса: 1—с амплитудой 1 кВ и  $t_{\text{ф}}=50$  нс для управления схемами инициирования поджига разрядников; 2,3—с амплитудой 100 В и  $t_{\text{ф}}=20$  нс для запуска диагностической аппаратуры или развертки высоковольтных осциллографов.

На рис. 4 показан оптоэлектронный приемник типа OR-2 с сетевым питанием. Приемник OR-2 имеет два оптических входа и вырабатывает 2 импульса с амплитудой 100 В и 20 В с  $t_{\text{ф}}=20$  нс для одного входа и

импульс с амплитудой 20 В и  $t_{\text{ф}}=10$  нс для другого.

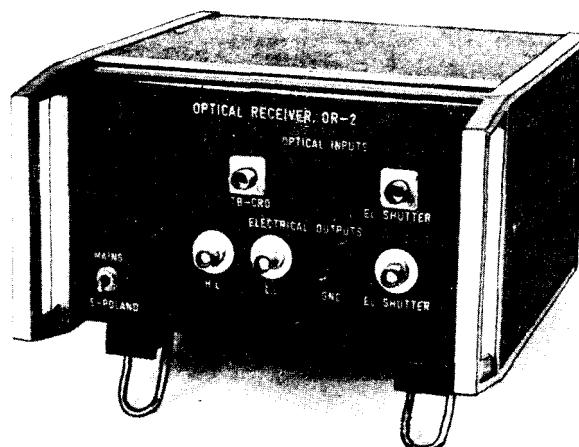


Рис. 4. Оптоэлектронный приемник типа OR-2 с сетевым питанием.

На рис. 5 показана схема измерения времени передачи импульсного сигнала управления и разброса срабатывания. Полученные времена срабатывания будут

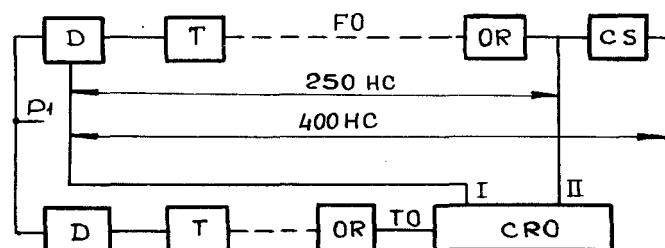


Рис. 5. Функциональная схема измерения времени передачи и разброса срабатывания.

сокращены при использовании более качественных и более быстрых ЭД и фотодиодов. Десятикратные осциллограммы выходных импульсов из схемы запуска разрядников (30 кВ с  $dV/dt \sim 3.5$  кВ/нс) положительной и отрицательной амплитуды показаны на рис. 6.

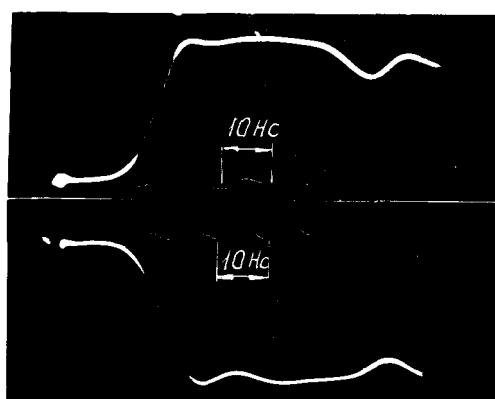


Рис. 6. Десятикратные осциллограммы выходных импульсов из схемы запуска.

Представленные осциллограммы сняты на выходе канала управления. Полученный разброс срабатывания  $\leq 1$  нс.

### Заключение

Гальваническое разделение каналов управления улучшило надежность управления за счет исключения перенапряжений в соединительных кабелях.