

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АН СССР
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

3

В.С.Белкин

**ОПТРОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ
РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА**

ПРЕПРИНТ 80-150



Новосибирск

ОПТРОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ
УСТРОЙСТВА

В.С.Белкин

А Н Н О Т А Ц И Я

Рассматриваются требования к аналоговым развязывающим устройствам для измерений на физических установках. Приводятся две схемы оптронных развязывающих повторителей с напряжением разделения до 500 В и до 50 кВ и полосой частот до 1,3 мГц, обсуждаются условия их дальнейшего развития.

ОПТРОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

В.С.Белкин

На физических установках зачастую требуются устройства аналоговой передачи сигнала постоянного тока без гальванической связи входа и выхода – аналоговые развязки (а.р.). В общем случае любая а.р. состоит из передающей и приемной частей (передатчика и приемника) и какого-либо негальванического канала связи.

Можно выделить две основные причины, требующие применения а.р. Первая – неравенство потенциалов в разных точках "земли" (корпуса) установки, относительно которой проводятся измерения. Например, на импульсных плазменных установках разность потенциалов "земли" достигает сотен Вольт. Вторая – необходимость измерений и создания систем обратной связи в высокопотенциальных относительно земли цепях. Исходя из сказанного, можно выделить два класса а.р.: низковольтные с напряжением разделения до ~ 1 кВ (н.а.р.) и высоковольтные (в.а.р.).

Основными параметрами а.р. являются: напряжение разделения (V_p), помехоустойчивость (Π), верхняя граничная частота (f_B), динамический диапазон (D), термостабильность (T_c), точность (δ). Рассмотрим некоторые из них в применении к измерительным системам.

Определим Π , как способность а.р. к передаче измеряемого сигнала, когда между передатчиком и приемником действует переменное напряжение с максимальной скоростью нарастания dV_n/dt . Примем, что максимально допустимая помеха на выходе приемника равна максимальному измеряемому сигналу – это позволяет не связывать Π и D . Если физическая длина линии связи меньше $1/f_B$, то можно пользоваться понятием емкости C между передатчиком и входом приемника. При этом

$$\Pi = (dV_n/dt)_{\text{гор}} = U_{c\text{max}}/C,$$

где $I_{смх}$ – ток на входе приемника, создаваемый максимальным измеряемым сигналом.

Требования к f_b и Δ для каждой задачи, естественно, свои. Характерные значения для известных а.р. [1,2] составляют: $f_b = 0,1 \div 1$ МГц, $\Delta = 60$ дБ.

Если время измерения сравнимо или больше характерного времени термохода нуля, последний не должен превышать заданной точности а.р. Однако, в широкой полосе частот такие измерения проводятся редко. Обычные величины длительности измеряемого сигнала не превышают долей секунды. В этом случае требования к T_c снижаются, поскольку измерение уровня нуля можно произвести до момента появления сигнала и учесть при обработке результатов. При таком режиме работы температурный уход нуля не должен лишь существенно снижать Δ .

При хорошей временной стабильности а.р. возможно уменьшение погрешности измерений, связанной с нелинейностью шкалы коэффициента передачи, путем калибровки шкалы.

Для установок ИЯФ СО АН (АМБАЛ, ПСП-2, АИ-150) приемлемыми параметрами в а.р. являются:

$$V_p \geq 200 \text{ кВ на воздухе}; \quad \Pi \geq 100 \text{ кВ/мкс};$$

$$f_b \geq 1,5 \text{ МГц}; \quad T_c \leq 0,5 \text{ \%/}^\circ\text{C}; \quad \delta \leq 1\%.$$

Следует выделить дополнительное требование к а.р. Число каналов, нуждающихся в применении а.р., например, на перечисленных установках ИЯФ превышает сотню. Отсюда следует необходимость в достаточно простых и недорогих устройствах.

Наиболее подходящими а.р. для изложенных выше целей на наш взгляд являются а.р. с оптическим каналом связи (оптронные а.р.) с модуляцией измеряемым сигналом амплитуды излучения светодиода в передатчике. Варианты а.р. с модуляцией излучения в канале связи подробно разобраны в обзоре [3]. Они обеспечивают эффективную развязку, но сложны по конструкциям и схемам.

Для оптронных а.р. выделение классов по напряжениям

развязки согласуется с существующей элементной базой. Н.а.р. могут быть выполнены на однокорпусных светофото-диодных оптронах [4], для в.а.р. оптрона собираются из светодиода, световода и фотодиода.

Наиболее удобной схемой линейной оптронной а.р. является конфигурация рис.1 с оптической отрицательной обратной связью, предложенная С.Я.Борисовым [5]. Линейная связь в этой схеме достигается применением одинаковых по параметрам оптронов или дифференциального оптрона с одним светодиодом и двумя фотодиодами.

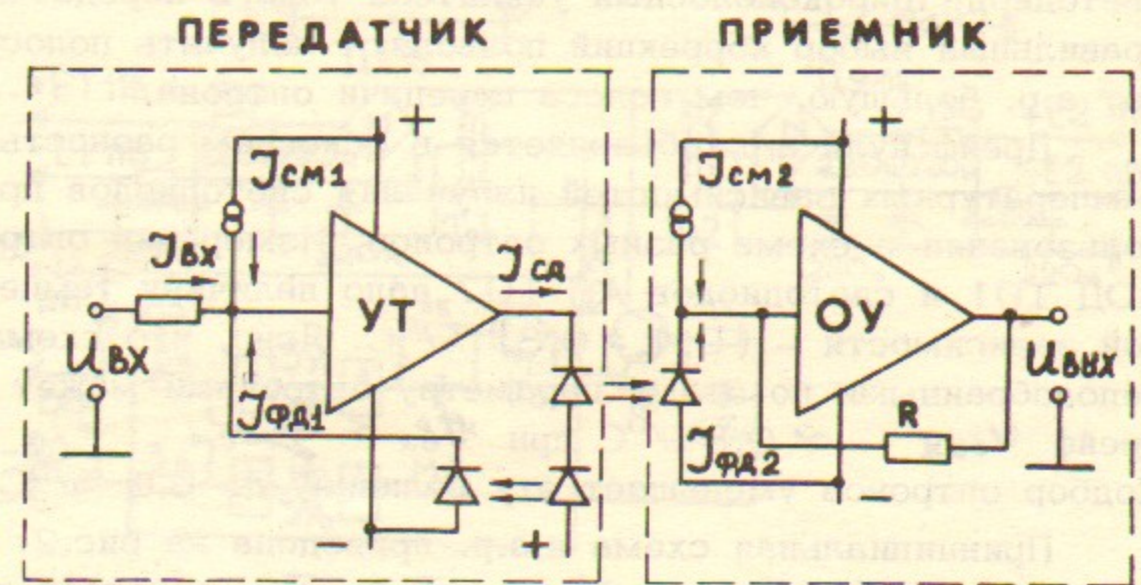


Рис.1.

УТ – усилитель тока, ОУ – операционный усилитель.

Разброс параметров оптронов в основном определяется светодиодами, поскольку их характеристики существенно нелинейны и термозависимы. В то же время фотодиоды обладают линейной зависимостью тока от светового потока, а их температурная зависимость проявляется в основном в изменении темнового тока, который для кремниевых фотодиодов весьма мал. Подробные сведения о характеристиках оптронов можно найти в монографии Ю.Р.Носова [6].

Из рис.1 ясно, что $U_{вых} = (I_{фд2} - I_{см2})R =$
 $= (\eta I_{фд1} - I_{см2})R$, где η – характери-

зует неодинаковость оптронов.
$$Y_{\Phi 31} = \frac{1}{1 + 1/K K_{сб}} (Y_{вх} + Y_{см1})$$

где K - коэффициент передачи по току усилителя передатчика, $K_{сб}$ - то же для оптрона.

$$U_{вых} = \left(\eta \frac{Y_{вх} + Y_{см1}}{1 + 1/K K_{сб}} - Y_{см2} \right) R$$

При $K K_{сб} \gg 1$ и $\eta = const$ $U_{вых}$ и $Y_{вх}$ имеют линейную зависимость. Полоса частот схемы и ее устойчивость определяются постоянными времени оптрона и усилителя передатчика и запасом по усилению $K K_{сб}$. Обычно наибольшую постоянную времени в оптроне имеет светодиод. Широкополосный усилитель тока в передатчике и правильный выбор коррекций позволяют получать полосу частот а.р. большую, чем полоса передачи оптрона.

Дрейф нуля а.р. объясняется в основном разностью температурных зависимостей излучения светодиодов при использовании в схеме разных оптронов. Измерения оптронов АОД 101 и светодиодов АЛ 107 дало величину температурной зависимости $- (0,4 \div 0,8) \% / ^\circ C$. Ясно, что схема с неподбранными по этому параметру оптронами может иметь дрейф $U_{вых} \sim 0,8 \% / ^\circ C$ при $Y_{вх} \leq \frac{1}{2} Y_{см}$. Подбор оптронов уменьшает эту величину до $0,1 \% / ^\circ C$.

Принципиальная схема н.а.р. приведена на рис.2. Преобразователь питания M_5 , T_2 , T_3 работает на частоте 3 мГц. Трансформаторы T_{p1} и T_{p2} намотаны на ферритовых кольцах 10x6x3, 2000 НМ, вторичная и первичная обмотки разделены фторопластовыми прокладками. Емкость между обмотками ~ 3 пф.

Усилителем передатчика являются два первых каскада операционного усилителя 140 УД5 (M_1) и транзистор T_1 . В схеме используются оптроны АОД 101А, подобранные по температурному дрейфу $K_{сб}$.

При $Y_{см} = 200$ мкА, типичном значении $K_{сб} = 1 \div 2 \%$, запас схемы по усилению $K K_{сб} > 100$. Выходной каскад M_1 (выводы 4 и 5) закорочен для уменьшения потребления тока.

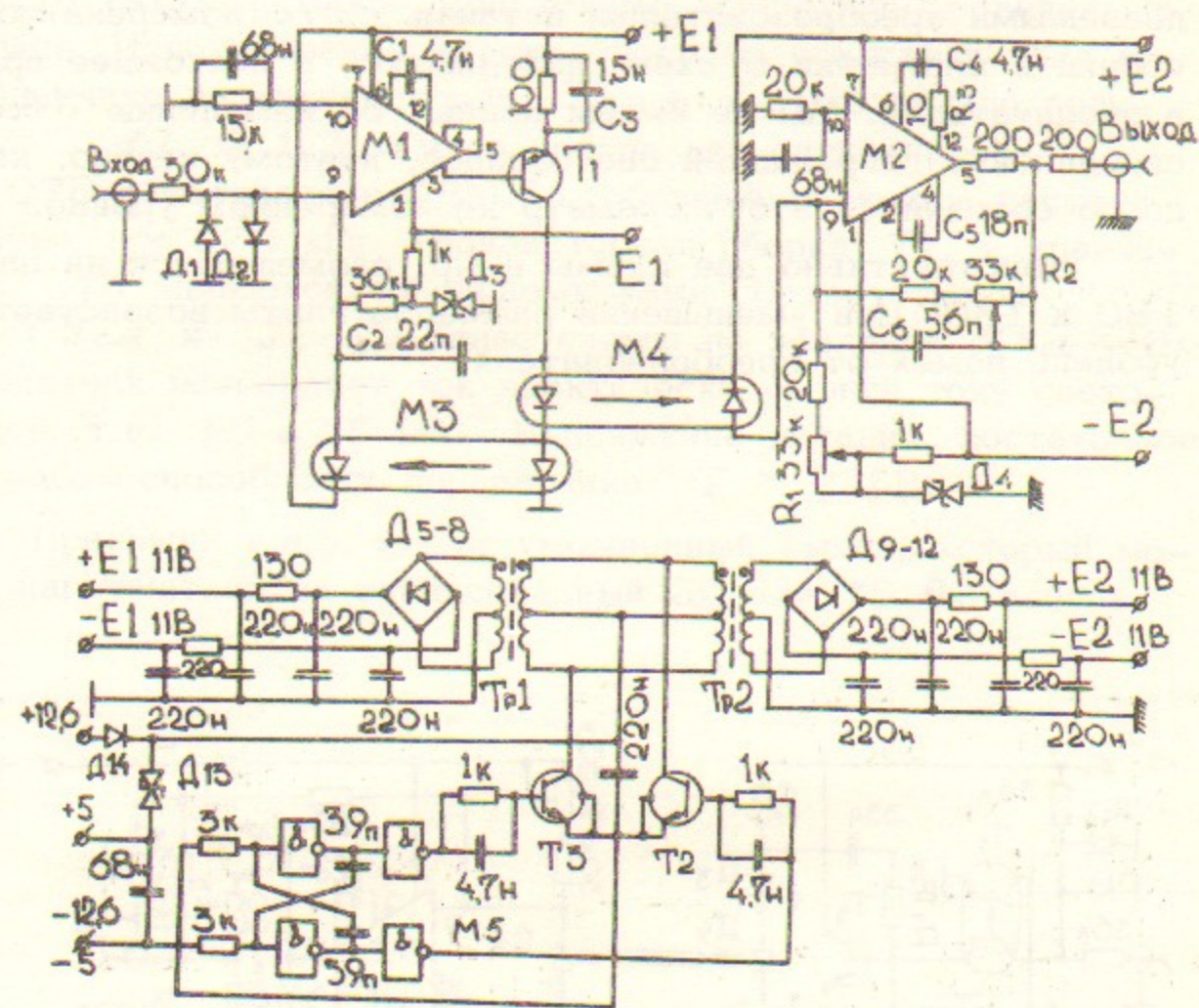


Рис.2.

Принципиальная схема н.а.р. M_{1-2} - 140УД5А, M_3 - АОД101А, M_5 - 155ЛА3, T_1 - КТ347А, T_{2-3} - КТ368, D_{1-2} , D_{5-12} - КД510, D_3 , D_4 , D_{13} - КС170, D_{14} - КД521. Питание +5 используется для M_5 .

В приемнике подстроечное сопротивление R_1 служит для установки нуля, а R_2 - коэффициента передачи а.р., C_4 , C_5 , C_6 , R_3 - цепи коррекции. Основные параметры н.а.р. для схемы с АОД101А приведены в

таблице. Динамический диапазон определяется помехами, создаваемыми преобразователем питания. T_e измерена после сборки и настройки 6 схем, находящихся в настоящее время в эксплуатации. Мы не имеем данных об изменении dK_{e0}/dT связанной с деградацией светодиодов, поэтому неясно, как долго сохранится этот параметр на измеренном уровне.

Конструктивно две схемы н.а.р. размещаются на плате 180 x 180. При уменьшении размеров платы возрастает уровень помех от преобразователя.

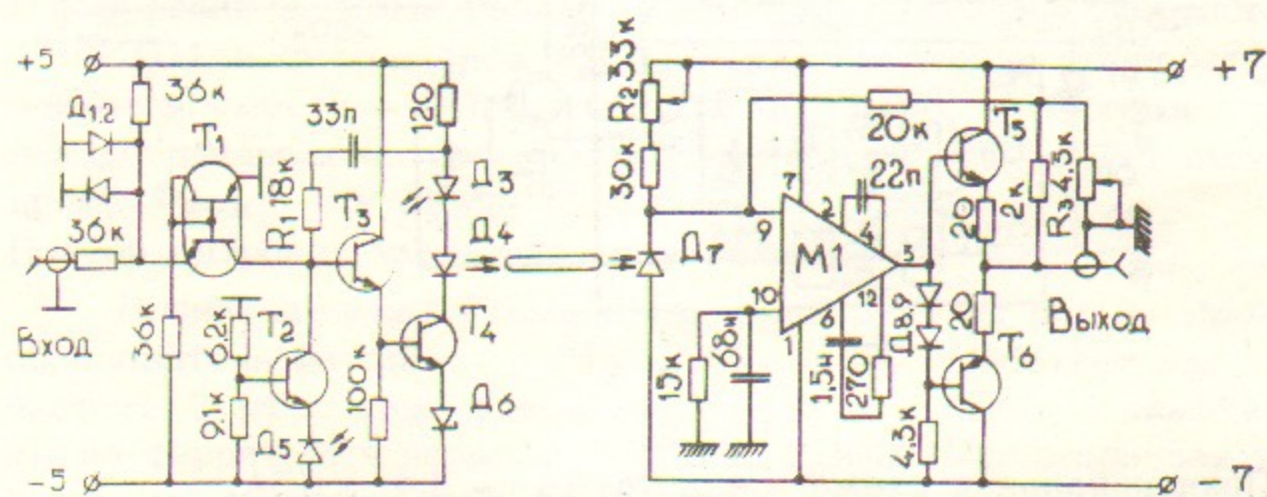


Рис.3.

Принципиальная схема в.а.р. T_1 - КТ3103А, T_{2-4} - КТ368, T_5 - КТ315, T_6 - КТ361, M_1 - 140УД5А, D_{1-2} - КД524, D_{3-4} - АЛ107Б, D_5, D_7 - ФД-10Г, D_6 - КС119 А, D_{8-9} - КД512. Сопротивление R_1 подбирается при настройке. R_2 - установка нуля, R_3 - установка коэффициента передачи.

На рис.3 показана принципиальная схема в.а.р. с питанием от аккумуляторов. Полученные параметры приведены в таблице. Использование широкополосного усилителя тока в передатчике на транзисторах T_3 и T_4 позволило получить $f_b = 1,3$ МГц на оптрон из светодиодов АЛ107Б и фотодиодов ФД10Г, собственная полоса частот которых ~ 300 кГц. Транзисторная сборка T_1 и транзистор T_2 являются токоприемниками соответственно $I_{\text{вх}} + I_{\text{см}}$ и $I_{\text{фг}}$. Запас схемы по усилению $K_{e0} > 20$. Передатчик потребляет ток практически равный току светодиодов, т.е. $10 \div 15$ мА. Напряжение питания, достаточное для работоспособности передатчика $E \geq \pm 5$ В.

Приемник в.а.р. имеет умощненный выход, который может нагружаться на согласованный 50 или 75 Ом кабель.

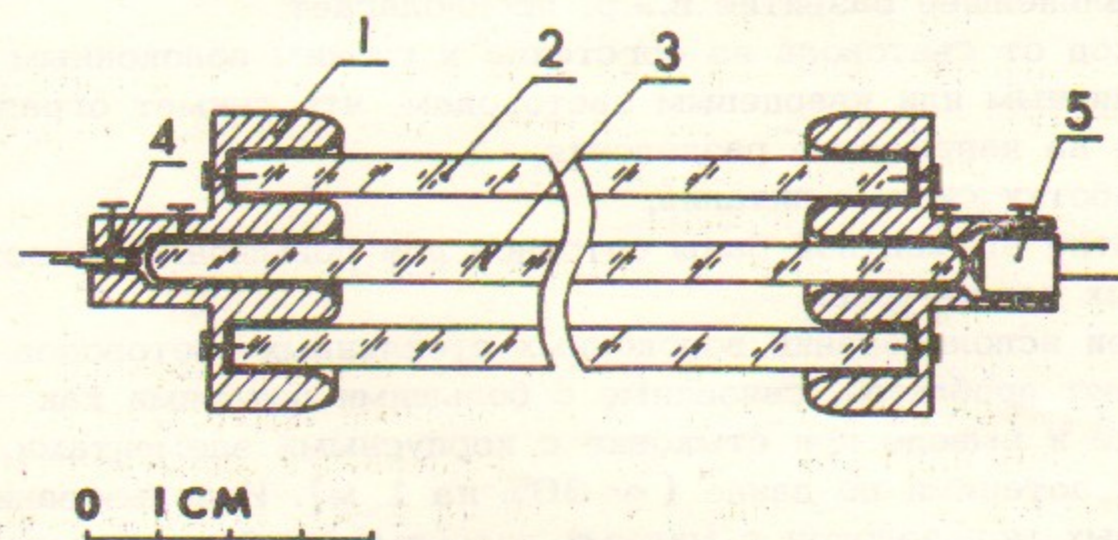


Рис.4.

1. Стыковочная камера, дюраль. 2. Соединительная труба, капрон. 3. Световод, оргстекло. 4. Светодиод АЛ107Б. 5. Фотодиод ФД10Г.

Конструктивно в.а.р. выполнена в виде двух блоков размерами 130x85x45, соединенных трубой из капролона, внутри которой соосно расположен световод из оргстекла. В блоках размещены схемы и аккумуляторы питания. Стыковочные узлы оптрона показаны на рис.4. Металлическая стыковочная камера с отражающими внутренними стенками увеличивает захват излучения (примерно вдвое по сравнению с аналогичной неметаллической камерой). Одновременно стыковочная камера служит высоковольтной заделкой световода и соединительной трубой. Для используемой пары АЛ107 и ФД10Г оптимальным является световод диаметром 4,6 мм с выточеными на концах линзами радиусом соответственно 2,5;4 мм. Поглощение излучения в оргстекле по нашим измерениям составляет 30-70% на длине 140 мм и зависит от сорта оргстекла и слабо от качества полировки поверхности световода. Типичная величина $K_{св}$ для такого оптрона $\sim 1\%$. Световоды для в.а.р. подбираются одинаковыми с точностью 20% по мощности излучения на токе 10 мА. Измерение 20 пар оптронов АЛ107 - ФД10Г со светодиодами из разных партий показывают, что нелинейность коэффициента передачи в.а.р. при таком подборе не превышает $\pm 4\%$ для $|\gamma_{вх}| < \frac{1}{2} \gamma_{ем}$.

Дальнейшее развитие в.а.р. предполагает:

- переход от световода из оргстекла к гибким волоконным стеклянным или кварцевым световодам, что снимет ограничение на напряжение разделения;
- разработку систем питания;
- развитие элементной базы оптронов для повышения качественных параметров.

При использовании волоконных стеклянных световодов возникают проблемы, связанные с большими потерями как на вводе и выводе при стыковке с корпусными элементами, так и с потерями по длине ($\sim 30\%$ на 1 м). Использование кварцевых моноволокон с малыми потерями требует применения бескорпусных элементов и специальной технологии стыковки для достижения приемлемого ввода излучения [7]. Поскольку смысл перехода на кварцевое моноволокно - в практически неограниченной длине линии, связи, необходимо развитие технологии разъемов для моноволокна.

Развитие систем питания может заключаться с одной стороны в применении солнечных батарей, с другой - в повышении экономичности схем, использовании импульсного питания там, где это возможно.

Для повышения качественных параметров в.а.р. необходимо создание специализированного быстрого дифференциального оптрона с выводом излучения в световод. Подбор одинаковых по параметрам оптронных пар не решает эту задачу вследствие существенной деградации светодиодов, из-за которой со временем параметры подобранных пар расходятся.

Рабочая полоса частот в.а.р. в настоящее время лимитируется параметрами оптронов. Если бы передаточная функция оптрона имела только одну постоянную времени τ , то применение схем передатчиков с оптронной обратной связью в принципе позволило бы получить $f_{3\text{дБ}} \sim K_{св} \cdot \frac{1}{2\pi\tau}$. Поэтому при разработке новых оптронов на наш взгляд следует стремиться к максимальному разнесу постоянных времени свето и фотодиодов.

Автор признателен А.М.Батракову за полезные обсуждения работы.

Параметры аналоговых оптронных повторителей.

№	Параметр	н.а.р.	в.а.р.
1	Напряжение разделения кВ		
	постоянное	0,1	50
	импульсное	0,5	50
2	Помехоустойчивость, кВ/мкс	1,0	10,0
3	Полоса частот по уровню 0,7, мГц	1,0	1,3
4	Фронт и спад для сигнала ± 2 В мкс	0,5	0,4
5	Динамический диапазон дБ	50	60
6	Термостабильность нуля мВ/°С	4	30
7	Нелинейность в диапа- зоне ± 3 В, %	± 4	± 4
8	Диапазон входных и выходных напряжений В	± 5	± 4
9	Допустимая перегруз- ка по входу, В ,		
	постоянная	50	150
	импульсная	200	500

1. Гэй, Иддингс. Широкополосный изолирующий усилитель постоянного тока с оптической развязкой. Приборы для научных исследований. 1979, № 7, с.128.
2. В.С.Белкин. Трансформаторная развязка для высоковольтных цепей. ПТЭ, 1979, № 4, с.178.
3. Р.Э.Хебнер и др. Оптические методы измерения электрических параметров при высоких напряжениях. ТИИЭР, 1977, № 11, с. 5.
4. Ю.Р.Носов, А.С.Сидоров. Оptrонные микросхемы: классификация, области применения, перспективы развития. ЭТВА/Под ред. Ю.Н.Конева - М. "Сов.радио", 1978, вып. 10, с.206.
5. С.Я.Борисов. Устройство гальванического разделения канала связи постоянного тока на базе оптрона. ЭТВА/Под ред. Ю.Н.Конева - М. "Сов.радио" 1972, вып. 2, с.40.
6. Ю.Р.Носов. Оптоэлектроника - М. "Сов.радио" 1977.
7. Миллер, Тинг Ли, Маркатили. Исследование световодных систем связи. ТИИЭР, 1973, № 12, с.46.