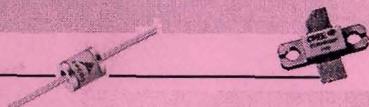


журнал для професіоналів та аматорів

Радіосхема

НОВИНИ ГАЛУЗІ



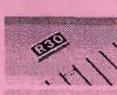
№4 / 2010
липень-серпень

МІКРОСХЕМИ І КОМПОНЕНТИ



СХЕМОТЕХНІКА

- Управляемый звуком драйвер светодиодов LM4970
- Источник прямоугольного сигнала
- Перестраиваемый делитель частоты
- Однофазный регулятор мощности
- Автономный индикатор телефонного звонка
- Тестер элементов логики
- Источник тока на трех ОУ
- Светодиодно-сенсорный светильник
- Удвоитель звуковой частоты
- Устройство, моделирующее работу диода
- Вентилятор с автоматическим управлением на LM317
- Включение сетевой нагрузки микрокнопкой
- Высокоеффективный драйвер белых светодиодов
- Маломощный ламповый усилитель класса А
- Обнаружитель звуков
- Тестер полупроводниковых элементов
- Беспроводной микрофон
- Высококачественный маломощный генератор треугольного сигнала
- НЧ фильтр для зашумленного ступенчатого сигнала
- Сетевой индикатор последовательности фаз на пассивных элементах
- Удаленное использование дифференциального усилителя без источника питания



ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ

Ультразвукові датчики потоку рідини	2
Живлення електронних компонентів з навколошнього середовища	2
Датчики температури PCB2225	3
Драйвер для керування групами світлодіодів	3

МІКРОСХЕМИ І КОМПОНЕНТИ

Управляемый звуком драйвер светодиодов LM4970.....	4
--	---

СХЕМОТЕХНІКА

Источник прямоугольного сигнала	6
Перестраиваемый делитель частоты	7
Однофазный регулятор мощности	8
Автономный индикатор телефонного звонка	10
Тестер элементов логики	12
Источник тока на трех ОУ	13
Светодиодно-сенсорный светильник	14
Удвоитель звуковой частоты	16
Устройство, моделирующее работу диода	17
Вентилятор с автоматическим управлением на LM317	18
Включение сетевой нагрузки микрекнопкой	18
Высокоэффективный драйвер белых светодиодов	19
Маломощный ламповый усилитель класса А	20
Обнаружитель звуков	22
Тестер полупроводниковых элементов	22
Беспроводный микрофон	23
Высококачественный маломощный генератор треугольного сигнала	24
НЧ фільтр для зашумленого ступенчатого сигнал	26
Сетевой индикатор последовательности фаз на пассивных элементах	29
Удаленное использование дифференциального усилителя без источника питания	31

РАДІОСХЕМА**№4 липень-серпень 2010**

Виходить один раз на два місяці

Науково-популярний журнал
 Зареєстрований Міністерством
 Юстиції України
 сер. KB, № 13831-2805PR, 22.04.2008 р.

Адреса для листів:
 ФОП Поночовний (ж-л РАДІОСХЕМА)
 а/с 111, м. Київ, 03067
 тел. (0-44) 458-34-67, e-mail: radioshema@ukr.net

Матеріали для публікації приймаються в рукописному, друкованому та електронному вигляді.

Розповсюдження за передплатою в усіх
 відділеннях зв'язку України, індекс 91710.

Редакційна колегія:

М.П. Горейко, Л.І. Єременко, О.Н. Парталя
 І.О. Пасичник, Ю. Садиков, Є.Л. Яковлев

Підписано до друку 3.08.2010 р.

Дата виходу в світ 11.08.2010 р.

Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 7,4

Облік. вид. арк. 9,35. Індекс 91710.

Тираж 1300 прим.

Ціна договірна.

Видавець ФОП Поночовний
 e-mail: radioshema@ukr.net

Віддруковано з комп'ютерного набору в друкарні
 ЗАТ «ОПТИМА» м.Київ, вул. Гетьмана, 15

При передrukі посилання на ж-л «Радіосхема» обов'язкове. За достовірність реклами та іншої друкованої інформації несуть відповідальність рекламидаці та автори. Думка редакції не завжди співпадає з думкою авторів.

© Редакція «Радіосхема», 2010

Ультразвукові датчики потоку рідини

Датчики швидкості руху потоку рідини UF25P100, UF25C100 фірми Synergy3 забезпечують високу точність вимірювань без контакту з вимірюваним середовищем. Унікальна технологія вимірювань забезпечує автоматичну компенсацію в залежності від ступеня в'язкості і температури рідини. Принцип вимірювань базується на часі проходження ультразвукового сигналу.

Канал для проходу вимірюваного потоку рідини сконструйований для повної мінімізації падіння тиску в системі, конструкція датчика не містить рухливих частин і запобігає виникненню засмічення. Крім того, дрібні частинки, що містяться у вимірюваній рідині, не впливають на точність результатів вимірювань. Точність вимірювань складає 3-5%, а роздільна здатність 0,001 л/хв. Швидкість вимірювань не перевищує 0,1 с.

Датчик UF25P100 (UF25C100) має імпульсний (анalogовий) вихід, діапазон вимірювань 0,5 - 25 л/хв., підключення до магістралі 3/8 BSP, внутрішній



діаметр магістральної труби 10 мм. Напруга живлення 7,5 - 26 В постійного струму (вхідний струм менший 10 мА при живленні 9 В), максимальний тиск 10 бар, діапазон робочих температур -10...85°C.

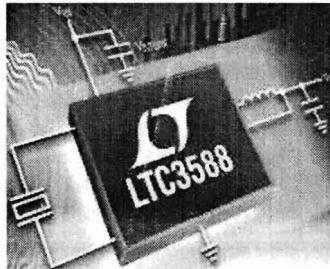
Безупинні вимірювання потоку не залежать від типу рідини, її температури і в'язкості при швидкості 1250-1750 м/с.

Живлення електронних компонентів з навколошнього середовища

Компанія Linear Technology випустила мікросхему LTC3588-1, що представляє собою повнофункціональне рішення для збору енергії з навколошнього середовища. Вона поєднує в собі випрямляч з низькими втратами і високоефективний понижуючий стабілізатор, що дозволяє збирати енергію механічних вібрацій за допомогою п'єзоелектричних елементів. Зібрана енергія може акумулюватися чи негайно використовуватися для живлення мікроконтролерів, сенсорів, передавачів та інших електронних компонентів.

Дана мікросхема підтримує роботу з вхідними напругами від 2,7 до 20 В, що робить її придатною для широкого спектру джерел енергії, включаючи п'єзоелектричні елементи й інші елементи з високим вихідним імпедансом. Вбудований понижуючий перетворювач може видавати до 100 мА безупинного струму й у кілька разів більше при короткочасних імпульсах. Вихідна напруга може бути встановлена в 1,8, 2,5, 3,3 чи 3,6 В для відповідності з параметрами елемента, який живиться. Струм у робочій точці при відсутності навантаження складає всього 950 нА, що значно збільшує ефективність системи.

Мікросхема LTC3588-1 розроблена для прямого з'єднання з п'єзоелектричним елементом чи іншим джерелом змінного струму. Вона дозволяє випрямляти вхідну напругу, акумулювати енергію в зовнішньому конденсаторі і розсіювати надлишки енергії за допомогою внутрішнього паралельного стабілізатора. У ній також передбачений режим блокуван-

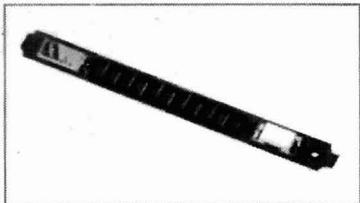


ня при недостатній напрузі, що дозволяє акумулювати заряд у конденсаторі доти, поки стабілізатор не зможе подати на вихід достатню частку акумульованого заряду. У режимі очікування, коли навантаження відсутнє, мікросхема продовжує заряджати конденсатор, споживаючи при цьому всього 950 нА. Для своєї роботи мікросхема потребує мінімальне число зовнішніх компонентів, що робить її ідеальним рішенням для систем з малою вільною площею на платі.

Датчики температури PCB2225

Платинові датчики температури серії PCB2225 на друкованій платі розроблені спеціально для використання в калориметрії - вимірах теплоємності, теплових ефектів хімічних і фізичних реакцій. Тому ключовими особливостями датчиків цієї серії є висока точність, довгострокова стабільність, невелика вартість і автоматизація монтажу.

Тонкоплівковий датчик температури розміщений на провідній друкованій платі розміром 22x2.5 мм. Кристал з'єднаний з вимірювальною поверхнею за допомогою звивистих (меандрової форми) доріжок на друкованій платі для зменшення розсіювання тепла і запобігання помилкових результатів вимірювань.

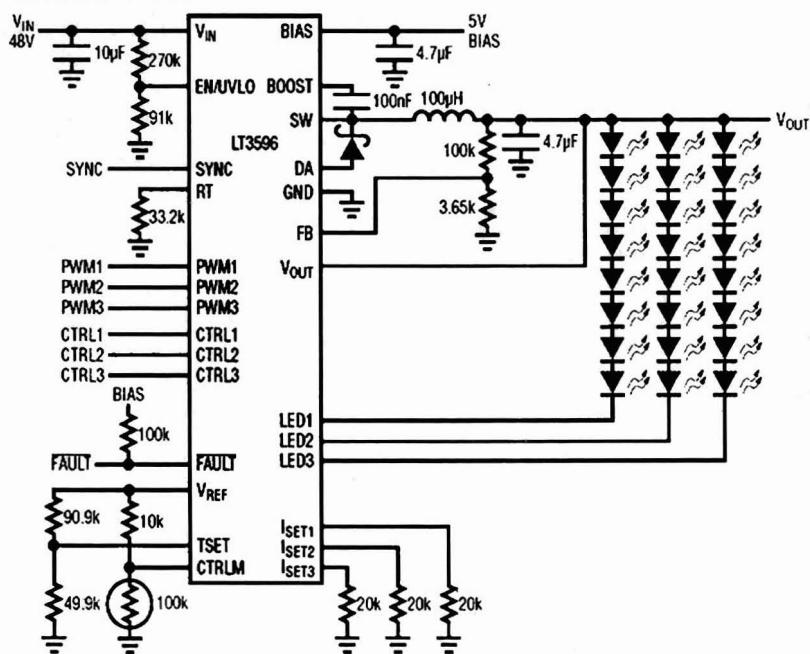


Датчики температури серії PCB2225 призначенні для широкого спектру застосувань у температурному діапазоні вимірювань від 0 до 150°C.

Драйвер для керування групами світлодіодів

Компанія Linear Technology представила понижуючий світлодіодний драйвер для керування трьома лінійками, які складаються з 10 світлодіодів кожна. Мікросхема LT3596 при вході напругі 48 В забезпечує струм кожної лінійки 100 мА й ефективність 90%. Вихідний струм підтримується з точністю 1,5%. Вхідна напруга 6...60 В, робоча частота задається зовнішнім резистором у діапазоні від

200 кГц до 1 МГц або синхронізується з зовнішнім джерелом тактового сигналу. При синхронізації з зовнішнім джерелом технологія True Color PWM дозволяє скважністю синхронізуючого сигналу регулювати яскравість у діапазоні 10000:1. При використанні внутрішнього тактового генератора яскравість задається резистивним дільником у діапазоні 100:1. Додатково LT3596 є можливість програмування порогу струмового і температурного захисту.



Управляемый звуком драйвер светодиодов LM4970

LM4970 - драйвер светодиодов, который управляет звуковым сигналом. Он включает в себя три драйвера с ШИМ управлением, каждый из которых нагружен на светодиод определенного цвета и может развить ток до 42 мА.

ШИМ драйверы светодиодов могут быть запрограммированы через I²C совместимый интерфейс для приложений, когда пользователь управляет светодиодами (приоритет, порядок, цвет, интенсивность и т.п.).

На вход микросхемы может поступать до трех звуковых сигналов, которые суммируются внутри микросхемы. Просуммированный сигнал поступает на внутренний блок управляемых фильтров, где разделяется на три сигнала: низкочастотный, среднечастотный и высокочастотный. Каждый из этих сигналов управляет широтно-

Таблица 1

Вывод	Символ	Описание
1	FILT	Вход фильтра низких частот
2	Vdd	Напряжение питания
3	M _{IN}	Моно аудио вход
4	GND	Земля
5	L _{IN}	Левый аудио вход
6	R _{IN}	Правый аудио вход
7	I ² CVdd	Напряжение питания интерфейса I ² C
8	SDA	Данные I ² C
9	SCL	Тактовые импульсы I ² C
10	ADR	Выбор адреса I ² C
11	LED3	Выход светодиода 3
12	LGND	Земля светодиодов
13	LED2	Выход светодиода 2
14	LED1	Выход светодиода 1

Таблица 2

Параметр	Значение
Напряжение питания Vdd	6,0 В
Входное напряжение	От -0,3 В до Vdd + 0,3 В
Рассеяние мощности	Внутренне ограничено
Температура перехода	150°C
Термическое сопротивление	12°C/Вт

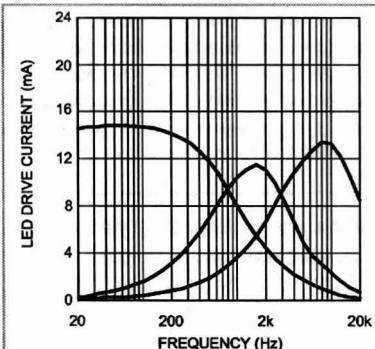


Рис.1

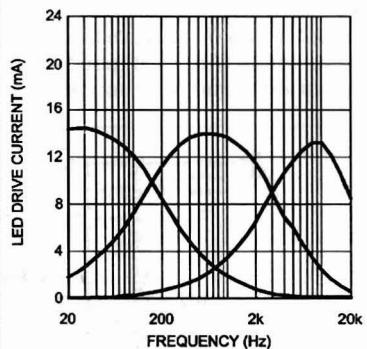


Рис.2

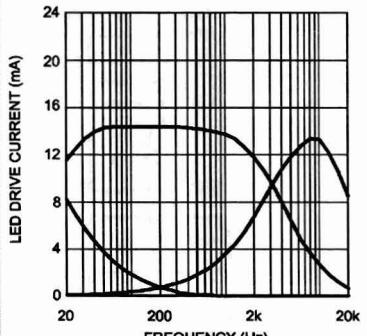


Рис.3

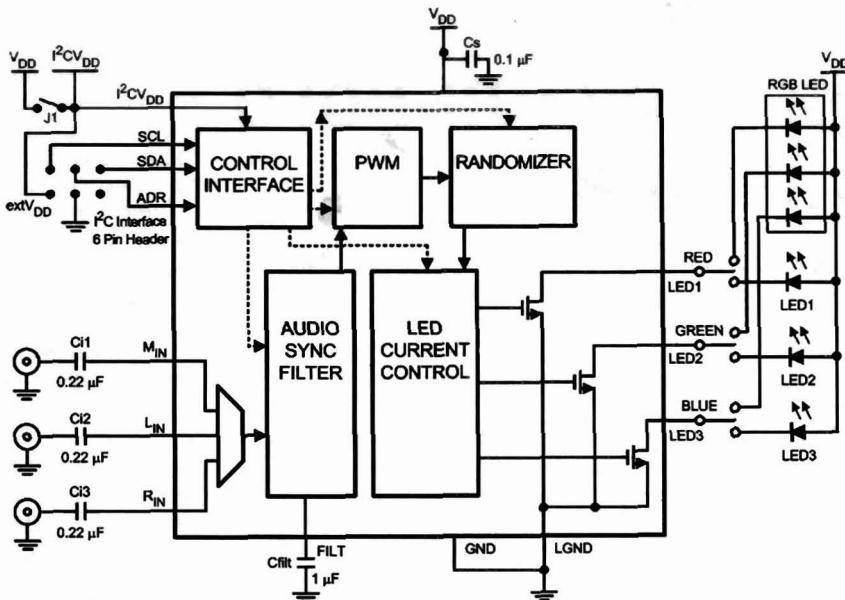


Рис.4

импульсным модулятором (ШИМ). Сигналы модуляторов подаются на базы выходных транзисторов. Величина среднего тока через транзистор (а следовательно, и через соответствующий светодиод) зависит от скважности импульсов на выходе модулятора. В состав микросхемы входит блок случайных возмущений (RANDOMIZER). Благодаря ему даже если на вход подается один тональный сигнал, будут мерцать все три светодиода. Диапазон рабочих температур LM4970 от 40°C до 85°C, напряжение питания от 2,7 до 5,5 В.

В **табл. 1** приведено описание выводов микросхемы LM4970.

В **табл. 2** приведены максимально допустимые значения параметров.

LM4970 имеет шину последовательного интерфейса I²C, которая управляет микросхемой по двум проводам: односторонняя временная шина (SCL) с тактовой частотой до 400 кГц и двунаправленная шина данных (SDA). Адрес интерфейса

I²C определяется использованием контакта ADR, по которому задается номер микросхемы при использовании нескольких микросхем типа LM4970.

Режим аудиосинхронизации заключается в том, что каждый из ШИМ модуляторов работает под управлением аудиосигнала определенной частоты. Фильтры аудиосигнала разделяют сигнал на три частотных диапазона: нижний, средний и верхний. Микросхема LM4970 имеет три аудиовхода: один моно и два стерео, которые внутри микросхемы смешиваются. Распределение частотных диапазонов определяется емкостью конденсатора C_{filt}. На

рис. 1...3 показано изменение частотных характеристик фильтров микросхемы при следующих значениях емкости конденсатора C_{filt}: 0,047 мкФ, 0,22 мкФ, 2,2 мкФ.

На **рис. 4** показана функциональная схема LM4970.

Источник прямоугольного сигнала

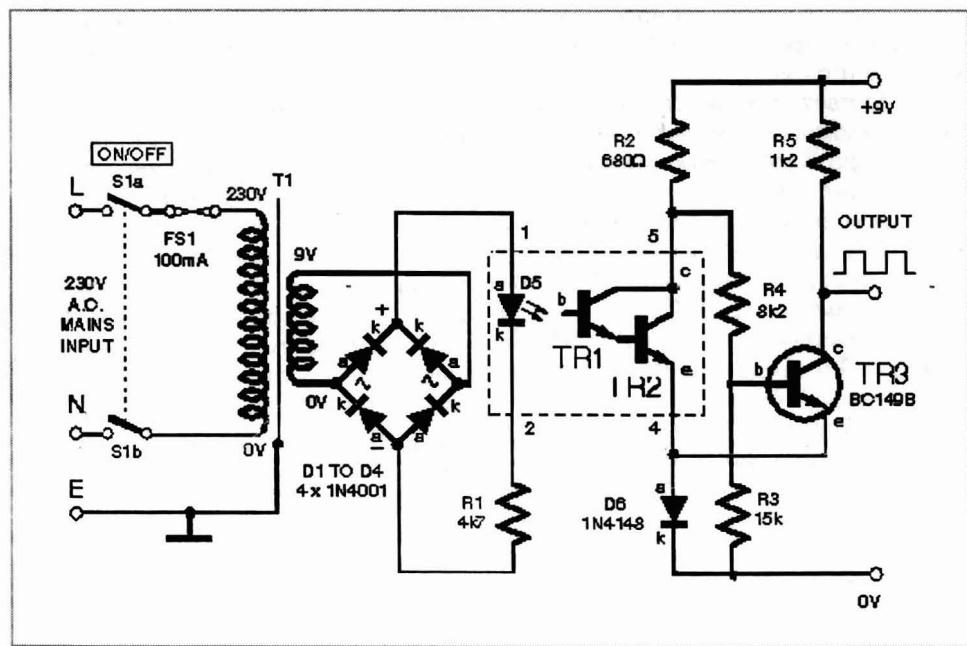
На **рисунке** показана схема Д. Стефенса (Ирландия), вырабатывающая меандр частотой 100 Гц. Прямоугольный сигнал преобразуется из сетевого напряжения частотой 50 Гц. Для обеспечения безопасности при работе с сетевым напряжением без понижающего трансформатора используется оптоизолятатор.

С помощью понижающего трансформатора напряжение сети уменьшается до 9 В, выпрямляется двухполупериодным однокомпонентным мостом D1...D4 и через резистор R1 подается на светодиод оптоизолятора. Оптический сигнал поступает на фототранзисторы пары Дарлингтона (TR1/TR2) оптоизолятора. Таким образом обеспечивается гальваническая развязка с сетевым напряжением.

Необычным решением в схеме есть использование пары Дарлингтона не только как части оптоизолятора, но также и как входной части дискретного триггера Шmittта, который

формирует прямоугольный сигнал. Диод D6 в эмиттерной цепи TR1/TR2 обеспечивает почти постоянное эмиттерное напряжение, которое помогает триггеру переключаться.

Первоначально в схеме использовался оптоизолятатор TIL119, но можно применять и другие типы, даже с одиночным фототранзистором вместо пары Дарлингтона, при условии, что номинал резистора R1 будет подобран для обеспечения нужного тока светодиода. С 9-вольтовым трансформатором номинал резистора R1 составляет 4,7 кОм. Транзистор TR3 типа BC149B можно заменить подобным.

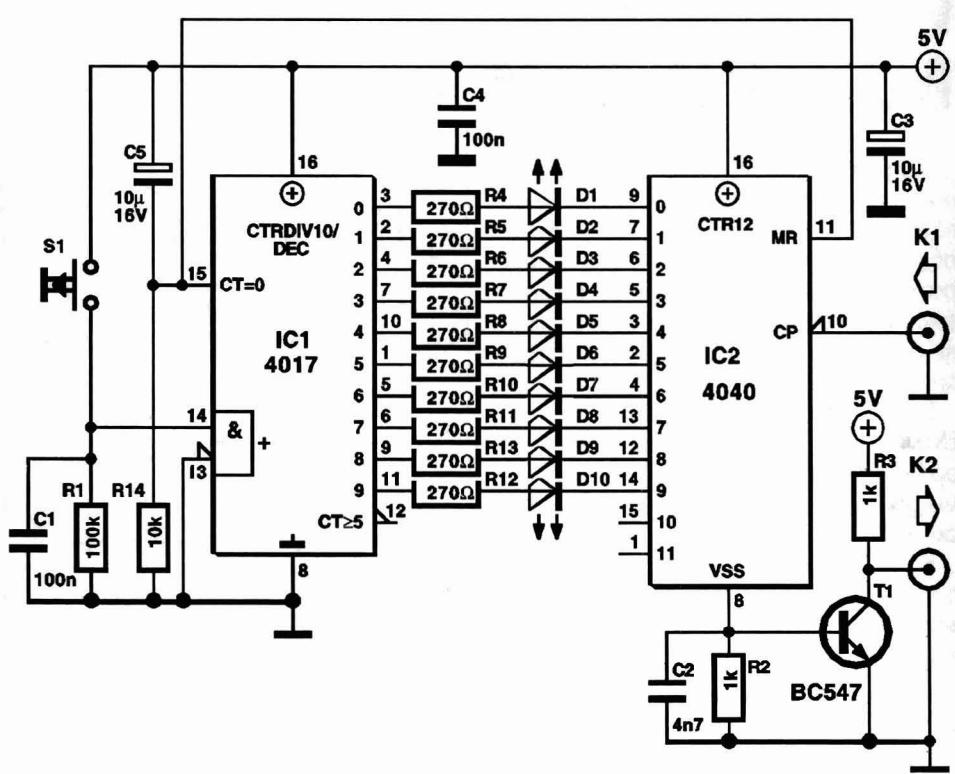


Перестраиваемый делитель частоты

На **рисунке** показана схема делителя частоты M. Нагари (Швейцария), построенная на IC2 4040, которая содержит ряд соединенных последовательно двоичных счетчиков. Через вход K1 на IC2 поступает тактовый сигнал, который на выходе Q0 будет разделен на 2, на Q1 на 4, на Q2 на 8, и так далее. Однако автор использовал выводы Q0-Q9 не как выходы, а как входы для выходов

IC1. ИМС IC1 - десятичный счетчик, у которого только на одном из его выходов может быть высокий уровень в любой момент времени, в зависимости от состояния счетчика.

При показанном на рисунке соединении двух интегральных схем ток будет протекать от IC1 через один из выходов IC2 (пока присутствует низкий уровень), через соответствующий резистор и све-



тодиод на массу. Светодиоды таким образом будут вспыхивать с частотой, соответствующей выбранному выходу IC2. Ток, протекающий на массу, вызовет падение напряжения на резисторе последовательно с зажимами источника питания, которое преобразуется транзистором T1 в стандартный логический уровень.

В зависимости от состояния счетчика IC1, ток через источник питания будет иметь определенную частоту повторения импульсов, которая частично определя-

ется сигналом на входе K1.

В зависимости от питающего напряжения и типа используемого IC1 максимальная частота тактового сигнала для IC2 может быть 7 МГц при напряжении источника питания 5 В или 24 МГц при 15 В.

Состояние IC1 устанавливается кнопочным переключателем S1. Цепочка R14, C5 обеспечивает стартовое состояние при включении питания или сбросе. R1, C1 - антидребезговая цепочка.

Однофазный регулятор мощности

На **рис. 1** показана схема однофазного регулятора мощности, которую изготавливает М. Икбал (Пакистан). Автор обращает внимание на то, что собирать и обслуживать устройства, работающие с сетевым напряжением, должны опытные и квалифицированные специалисты.

В схеме используется компаратор LM311 (IC1) и два 555 ждущих таймера (IC2 и IC3). На **рис.2** показаны формы напряжений в контрольных точках схемы.

В устройстве используется сетевой понижающий трансформатор T1 до 6 В мощностью 3 Вт. Входное напряжение V_{AC} выпрямляется V_1 двухполупериодным выпрямителем и на выходе компаратора получается сигнал прямоугольной формы частотой 50 Гц V_2 . Этот

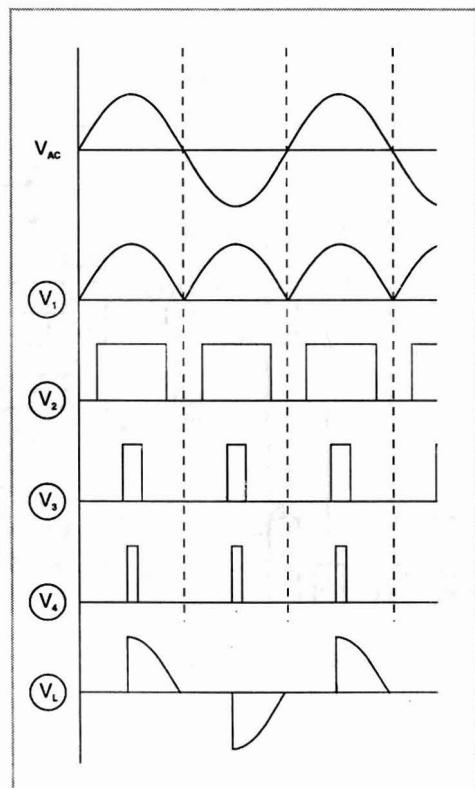


Рис.2

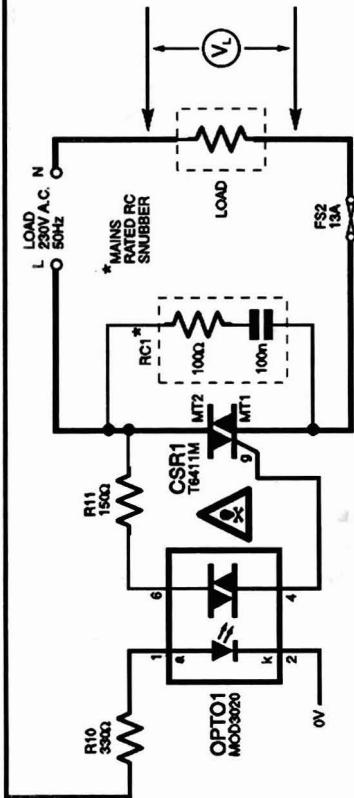
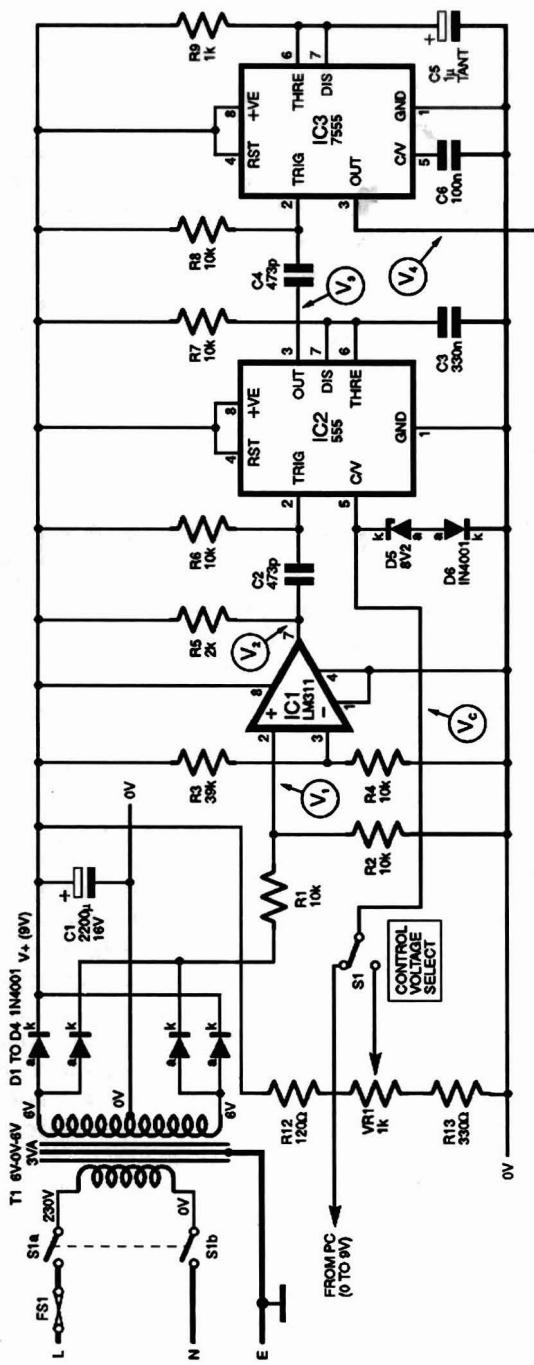


Рис. 1

сигнал используется для запуска ждущего мультивибратора IC2. Его время срабатывания зависит от входного напряжения дистанционного управления V_C на вывод 5, поступающего с потенциометра VR1. Рабочий цикл второго ждущего мультивибратора устанавливается выходным сигналом первого мультивибратора V_3 . Выходной сигнал 50 Гц второго мультивибратора V_4 используется для управления оптоизоляторм типа MOD3020 с мощным триаком типа T6411M (на большом радиаторе может коммутировать ток до 30 А с напряжением 600 В). Форма сиг-

нала на активной нагрузке V_L показана на рис.2.

Однофазный регулятор мощности может использоваться для управления нагрузкой в виде нагревателей или коллекторным электродвигателем переменного тока, учитывая, что зависимость вход/выход регулятора нелинейна. Прибор не может использоваться для управления синхронным электродвигателем или электродвигателем с расщепленными полюсами, поскольку они частотнозависимые.

Автономный индикатор телефонного звонка

Устройство, которое изготовил Дэвид Кордер (Великобритания), обеспечивает визуальную индикацию сигнала вызова по телефонной линии. Питается устройство от автономного источника напряжением 3 В и не имеет гальванической связи с телефонной линией.

Применение устройства может быть полезным, когда телефоном пользуются люди с пониженным слухом или в комнате спит малыш. Также устройство будет полезным, если абонент пользуется услугой автоответчика или другими услугами оператора связи и отсутствует информация о пропущенном звонке.

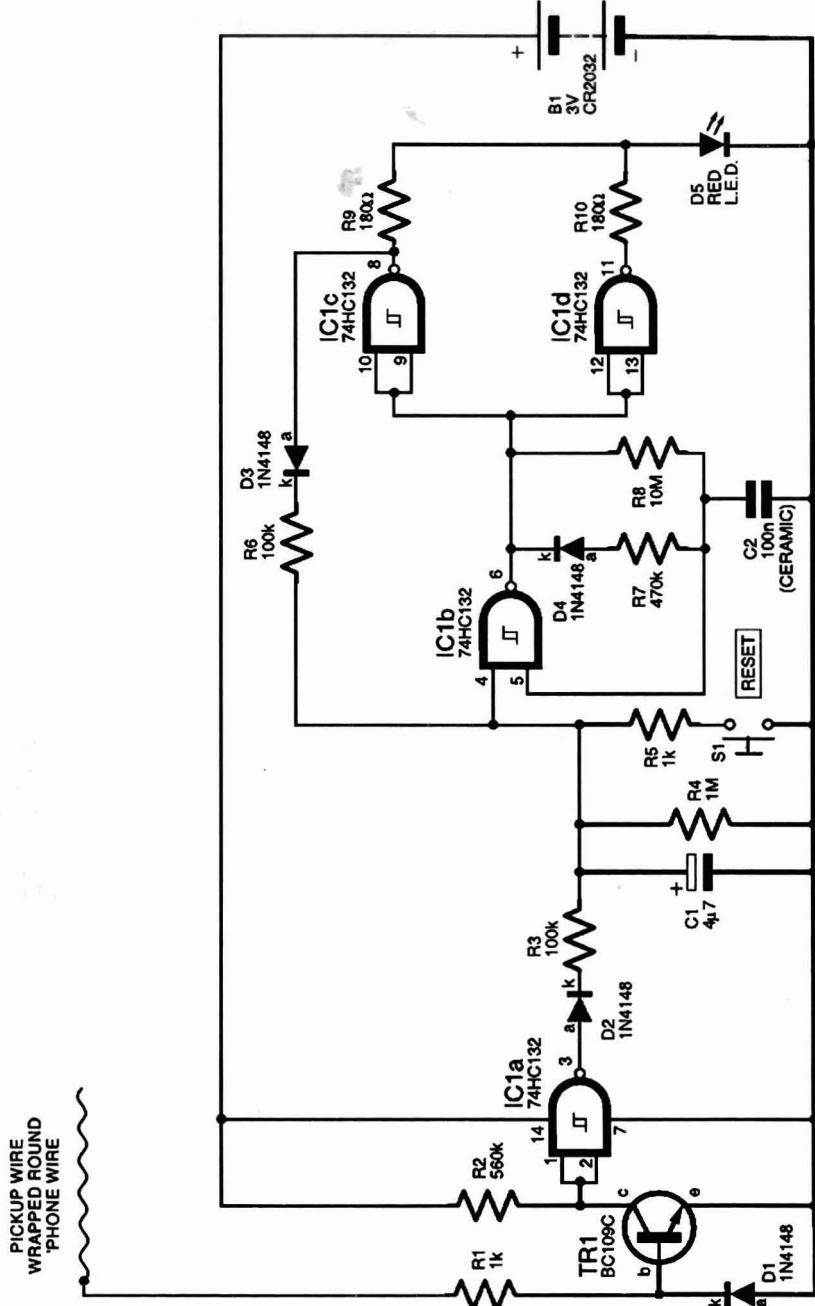
На **рисунке** показана схема индикатора. Устройство не имеет электрической связи с телефонной линией. Несколько витков провода-датчика обернуты вокруг провода телефонной линии. Снятый с линии вызывной сигнал усиливается высокомпедансным усилителем. Транзистор TR1 без смещения обеспечивает достаточ-

ное усиление напряжения для управления триггером Шмитта IC1A. В отличие от более традиционных методов обнаружения телефонного звонка с микрофоном и усилителем, этот метод характеризуется незначительным током покоя.

Второй триггер Шмитта IC1b используется как генератор для получения прерывистой светодиодной индикации. RC-цепочка сформирована R3 и C1 на входе генератора служит для предотвращения ложных срабатываний, требуя эквивалент вокруг трех колец перед триггерами генератора. Два остающихся элемента IC1C и IC1D используются как буферные каскады для светодиода D5.

Через диод D3 и резистор R6 организована обратная связь для поддержания работы генератора, который был однажды запущен.

Устройство может работать от двух лигневых батарей напряжением по 1,5 В.



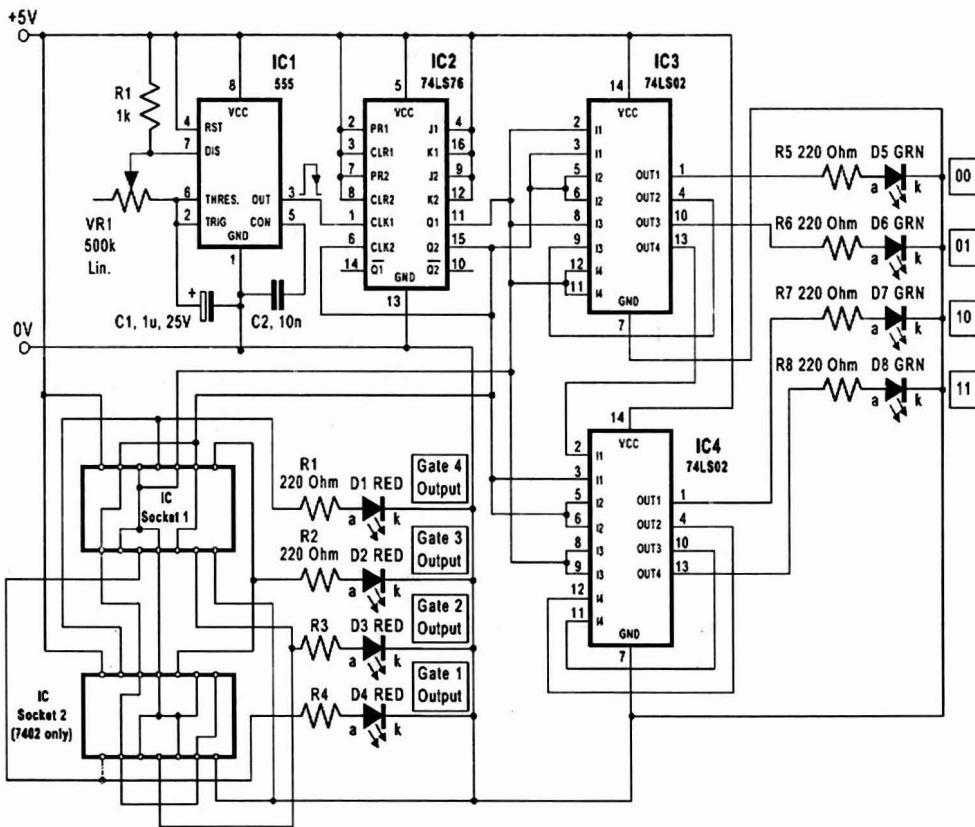
Тестер элементов логики

На **рисунке** показана схема тестера, которую разработал Н. Мирза (ЮАР), для проверки работоспособности логических элементов AND, NAND, OR, NOR, XOR и XNOR (7408, 7400, 7432, 7402 и 7486 соответственно).

На макросхеме IC1 собран таймерный генератор, потенциометром VR1 устанавливается частота. IC2 содержит двойной J-K триггер, который работает как асинхронный счетчик по модулю 4, вырабатывая коды 00, 01, 10 и 11. Эти коды пода-

ются на гнезда IC Socket 1 и IC Socket 2, в которые вставляются микросхемы логики для проверки работоспособности. NOR элементы IC3 и IC4 расшифруют и покажут состояние входов на простом светодиодном индикаторе D5...D8 (выходной результат аналогичен данным таблиц истинности).

Таким образом, светодиоды D1...D4 показывают состояния выходных элементов, а D5...D8 - результат их таблиц истинности. Тестирование логической микросхемы



мы заключается в сравнении состояния выходных элементов с показаниями таблицы истинности. Ошибка регистрируется как небольшой ток утечки, при этом светодиод будет слегка подсвечен.

При работе с тестером необходимо помнить о следующих ограничениях:

- Socket 2 предназначен только для ИС 7402;
- нельзя одновременно тестировать микросхемы в Socket 1 и Socket 2;
- тестер не предназначен для проверки микросхем с выходным открытим коллектором.

Источник тока на трех ОУ

На одном ОУ очень сложно построить перестраиваемый источник тока с хорошей стабильностью, используя резисторы с стандартными параметрами. Х. Бонекамп (Германия) собрал источник тока на трех ОУ (см. **рисунок**), который характеризуется высокой стабильностью.

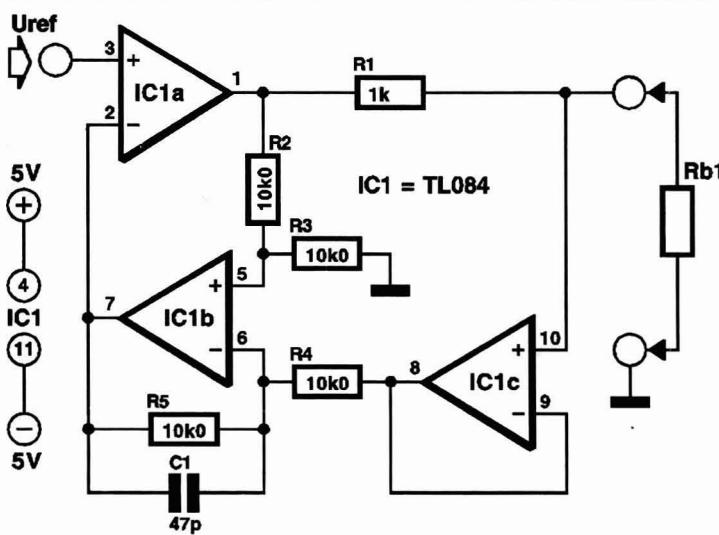
В схеме используется активная обратная связь, снимаемая с резистора R1. Ток на выходе описывается соотношением U_{ref}/R_1 .

Чтобы поддерживать постоянное выходное напряжение на резисторе R1, дифференциальный усилитель IC1b контролирует потенциалы на обоих выводах резистора. Потенциал резистора прикладывается к инвертирующему входу IC1A, который сравнивается с входным напряжением Uref. В зависимости от ре-

зультата этого сравнения, потенциал на выводе 1 увеличивается или уменьшится, пока не установится равновесие $U_{R1} = U_{ref}$.

Также ОУ IC1 предотвращает увеличение тока через резистор R1 при возможном подключении измерительного прибора с малым входным сопротивлением.

Номиналы резисторов в схеме должны быть одинаковыми $R_2 = R_3 = R_4 = R_5$. Конденсатор C1 необходим для частотной компенсации, так как имеется задержка по контуру ОС. При выполнении этих требований схема обеспечивает хороший источник тока. Если необходим переменный ток на выходе устройства, тогда нужно R1 заменить комбинацией постоянного и переменного резисторов.



Светодиодно-сensорный светильник

Обычные красные светодиоды в большинстве устройств используются как светоизлучающие приборы, но их можно также использовать и как фотодатчики.

Г. Николлс (Германия) разработал две необычные схемы включения светодиодов. Это светочувствительные светильники, в которых отдельный светодиод, в одной и той же цепи, работает и как излучатель света и как фотоприемник.

На рис. 1 показана схема устройства, которое работает как "ночник". Светодиод находится в выклю-

ченном состоянии при достаточном окружающем освещении и включается, когда освещение снижается до определенного уровня. На микросхеме таймера КМОП 7555 собран мультивибратор в ждущем режиме, когда напряжение на выв.2 меньше чем $1/3$ питающего напряжения. Резисторы R1 и R2 формируют делитель напряжения, который поддерживает напряжение на катоде светодиода ниже напряжения отпирания. Если уровень окружающего света достаточно яркий, за счет фотогальванического тока светодиода на нем появится напряжение в несколько сотен милливольт, которое добавится к напряжению, со-

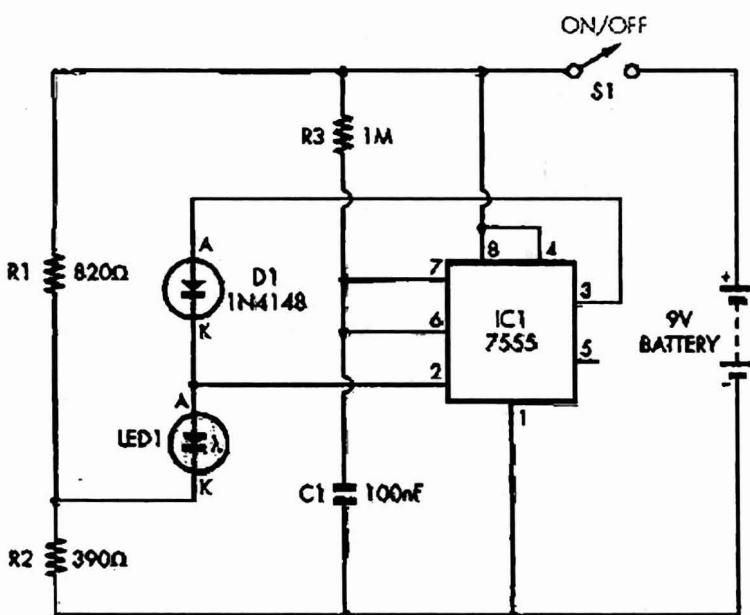


Рис. 1

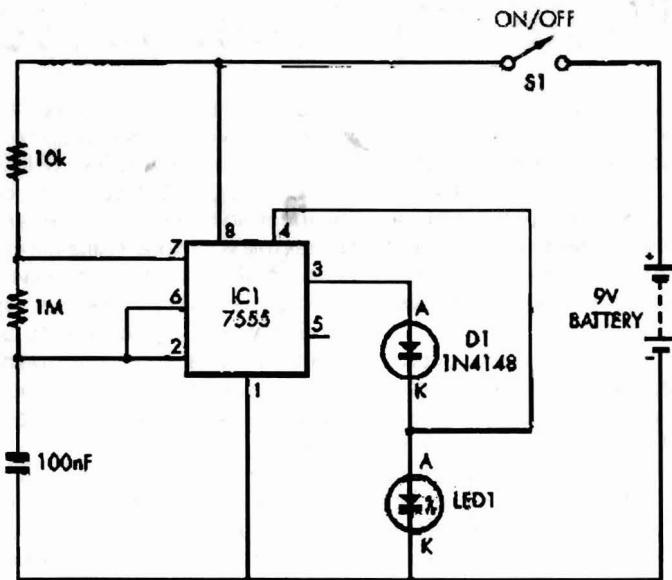


Рис.2

зданному делителем R_1/R_2 , и поднимет напряжение на выв.2 выше уровня срабатывания ($1/3$ питающего напряжения). Тогда на выв.3 микросхемы будет около 0 В и диод 1N914 будет иметь обратное смещение, позволяя фотогальваническому току светодиода поступать на триггерный вход выв.2.

Когда уровень окружающего освещения понизится достаточно низко, напряжение светодиода упадет и на выв.2 установится напряжение ниже уровня срабатывания. Тогда ИМС 7555 произведет одиночный импульс, диод 1N914 будет в прямом смещении и светодиод начнет светиться. В конце тактового интервала, установленного R_3 и C_1 , мультивибратор обнулится и разрядится конденсатор C_1 , готовясь к следующему циклу.

На рис.2 показана схема, которая работает как "мигающая лампа дневного света", т.е. светодиод вспыхивает при яр-

ком освещении и отключается при недостаточном. Светодиод работает как излучатель света, когда на выв.3 присутствует высокий уровень, и как датчик, когда на выходе низкий уровень.

Таймер 7555 включен как нестабильный мультивибратор и светодиод будет светиться (через диод 1N914), пока на выв.4 (reset) поддерживается напряжение выше 600 мВ. Когда окружающее освещение сильно уменьшится, светодиод не будет производить достаточно напряжения на выв.4 и мультивибратор вернется в исходное состояние. На выходе будет напряжение около ноля и светодиод не будет светить.

Обратите внимание, что в обеих схемах нужно использовать только КМОП микросхему (например, Intersil ICM7555), потому что она работает с очень низкими токами на входе.

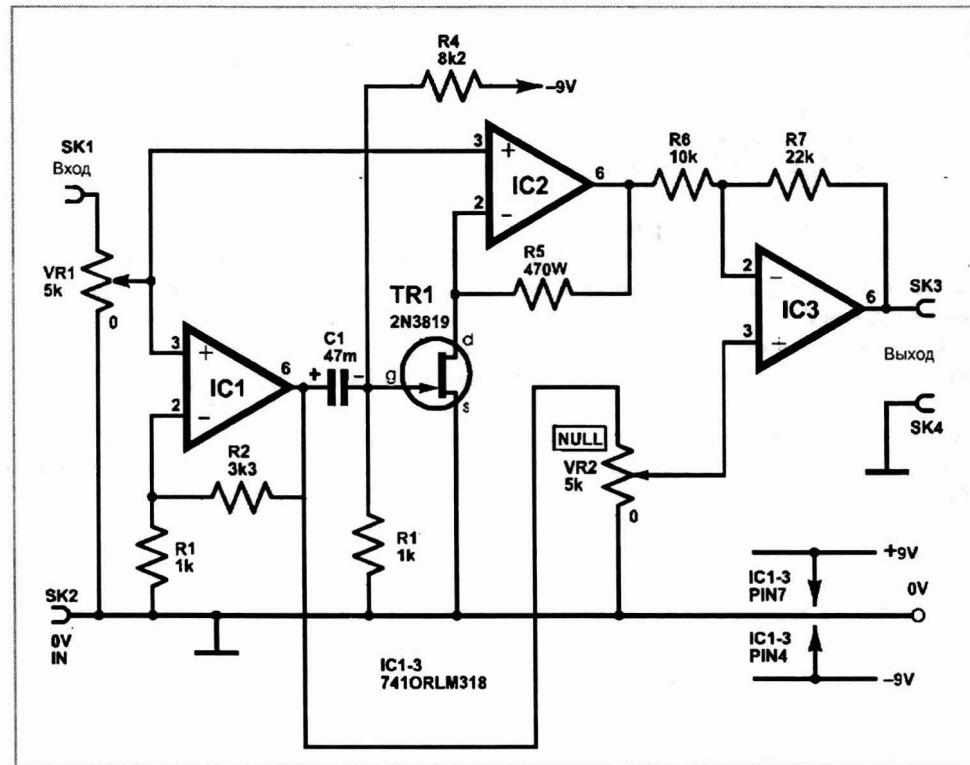
Удвоитель звуковой частоты

Увлекаясь музыкой, Алан Липпет (Великобритания) заинтересовался электронными эффектами для музыкальных инструментов. Например, pitch-эффект, позволяющий изменить тональность звука, превращает обычную электрогитару в бас-гитару. Реализация такого типа эффектов в основном достигается цифровыми устройствами и программными методами.

На **рисунке** показана схема аналоговой реализации удвоителя звуковой частоты. В схеме используется нелинейное смешивание сигналов. Суммирование и вычитание двух исходных синусоидальных сигналов с частотами f_1 и f_2 может быть обеспечено аналоговым умножением. Т.е. если f_1 и f_2 - одинаковы, то $f_1 + f_1$ можно заменить $2f_1$ и $f_1 - f_1 = 0$.

Умножитель выполнен на ОУ IC2 и полевом транзисторе TR1. Входной сигнал подается на прямой вход (выб. 3) IC2, который совместно с транзистором TR1 формирует усилитель напряжения с переменным коэффициентом усиления. Усиление управляет амплитудой копии входного сигнала, усиленного IC1 и поданного на затвор TR1. Полевой транзистор работает со смещением и имитирует линейное сопротивление между истоком и стоком. Это сопротивление модулируется входным синусоидальным сигналом.

Усиление IC2 равняется $(R_5 + R_{ds}) / R_{ds}$, где R_{ds} - сопротивление сток-исток полевого транзистора. Изменение в усиении производит умножающееся действие. Если выходное напряжение ОУ IC2 $V_{out} = G \times V_{in}$,



где G - коэффициент усиления и сам G является функцией от напряжения входного сигнала V_{in} , то $V_{out} = G(V_{in}) \times V_{in}$. К сожалению, из-за устройства полевого транзистора и операционного усилителя, усиление $G(V_{in})$ математически описывается выражением $a + (b \times V_{in})$, где a и b - постоянные.

Следовательно,

$$V_{out} = (a + (b \times V_{in})) \times V_{in} \text{ и}$$

$$V_{out} = a = V_{in} + b \times V_{in} \times V_{in}.$$

Это означает, что присутствует дополнительный элемент $a \times V_{in}$, который представляет собой первоначальный входной сигнал, умноженный на некоторую постоянную. Чтобы удалить ее, предусмотрен ОУ

IC3, на котором реализована схема вычитания. Смешанный выходной сигнал подается на инвертирующий вход, а исходный - на прямой, через потенциометр VR2. Точкой регулировкой VR2 исходный сигнал подавляется на выходе, оставляя удвоенную частоту на выходе IC3.

На вход ОУ IC1 подавался сигнал 0...4 В. Первоначально использовался ОУ 741s, который давал хорошие результаты, но лучшие технические характеристики показал ОУ LM318S, улучшив обнуление. Схема тестировалась на частотах до 10 кГц.

Устройство питается от двуполярного источника напряжением 9 В.

Устройство, моделирующее работу диода

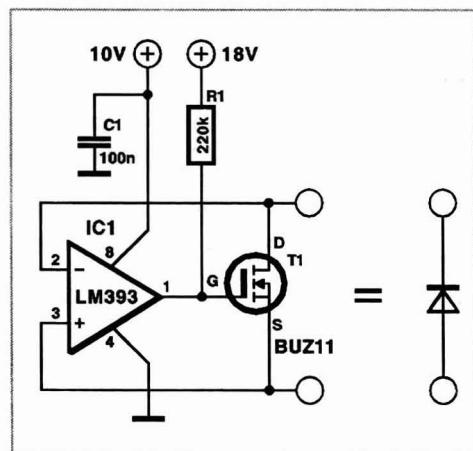
При конструировании одного электронного устройства А. Ретнейсу (США) потребовалось применить диод с низким прямым напряжением для уменьшения потерь мощности. Так как типовое прямое напряжение диода около 0,7 В, то автору пришлось разработать схему, обладающую

свойствами диода. На **рисунке** показана схема устройства, в котором при прямом токе 1 А полное падение на двух (активных) компонентах составляет около 0,04 В, что существенно меньше по сравнению со стандартным диодом. Обычно в полевом транзисторе с п-каналом ток течет от стока к истоку. В устройстве автомата ток течет в противоположном направлении, которое соответствует полярности внутреннего защитного диода между стоком и истоком. Это предотвращает проводимость всей схемы в направлении обратного напряжения.

Когда исток позитивен относительно стока, компаратор включает транзистор. При токе до 1 А в прямом направлении падение напряжения на транзисторе всего 0,04 В.

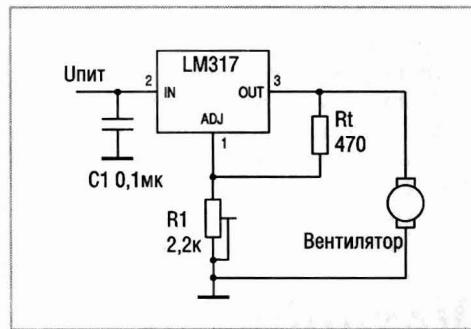
Когда полярность напряжения изменить на противоположную так, чтобы сток стал позитивным относительно истока, на выходе компаратора изменится состояние (с высокого на низкое), в результате ток через полевой транзистор прервется. Другими словами, "псевдодиод" будет проводить только в одном направлении.

Потенциалы стока и истока BUZ11 должны оставаться на 1,5 В ниже питающего напряжения, чтобы они попадали в пределы диапазона изменений входных сигналов LM393.



Вентилятор с автоматическим управлением на LM317

На **рисунке** показана схема простого устройства для автоматического управления скоростью вращения вентилятора. Обычно это вентиляторы с рабочим напряжением порядка 12 В, используемые для обдува электронного оборудования. Благодаря использованию термистора Pt, выходное напряжение стабилизатора и, следовательно, эффективность охлаждения зависят от температуры - чем выше температура, тем больше обороты вентилятора.



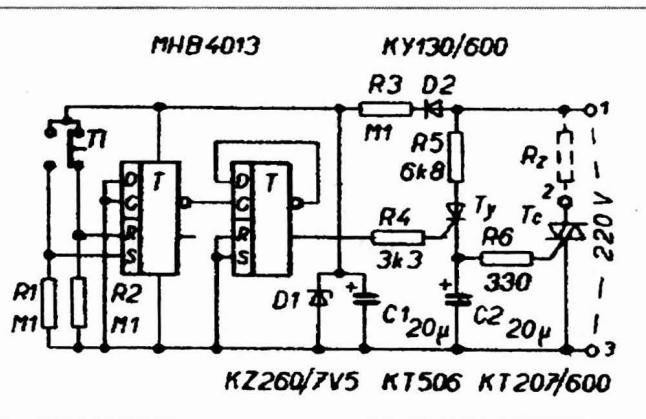
Включение сетевой нагрузки микрокнопкой

На **рисунке** показана схема В. Чечрдле (Чехия) электронного коммутатора. Схема построена на двух D-тригерах 4013. Первый триггер обслуживает микрокнопку T1, а второй работает как делитель на два и через резистор R4 управляет сетевым тиристором KT506. Ток, протекающий через тиристор, ограничивается резистором R5 с возможным рассеянием мощности до 2 Вт. Через резистор R6 и конденсатор C2 управляется триак KT207/600. Питание микро-

схемы выполняется через диод D2 и резистор R3. Питание стабилизируется стабилитроном D1 и фильтруется конденсатором C1.

Используемый в устройстве триак может управлять нагрузкой до 1 кВт с применением радиатора. При мощностях до 150 Вт охлаждения триака не требуется.

Внимание! Собирать и эксплуатировать устройство нужно с соблюдением мер предосторожности, предусмотренных при работе с сетевым напряжением 220 В.



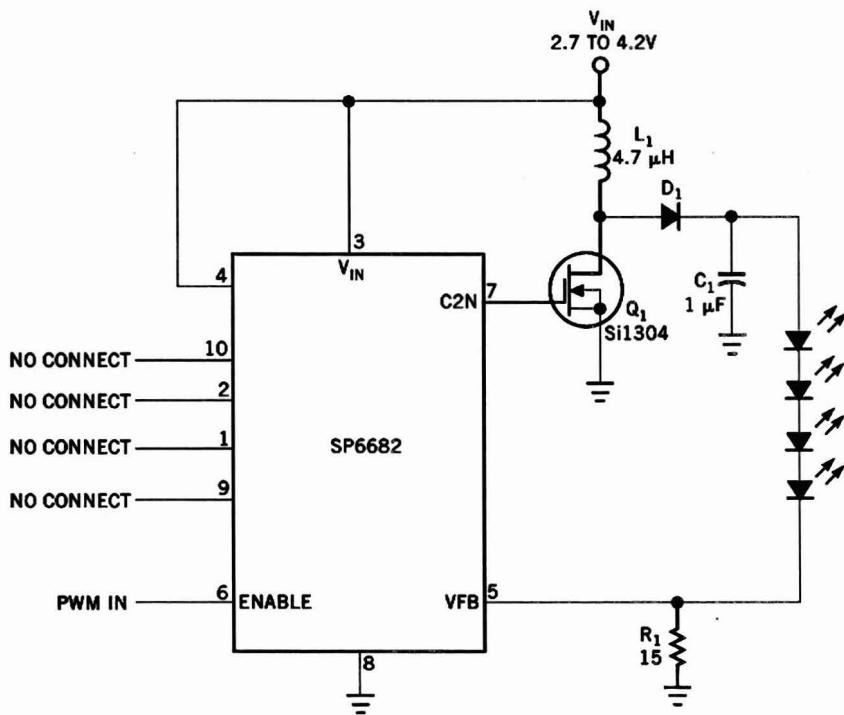
Высокоэффективный драйвер белых светодиодов

Белые светодиоды часто применяются в качестве подсветки для цветных индикаторов на жидкокристаллических экранах. Благодаря их малому размеру и белому свечению, они находят применение в маленьких, портативных устройствах с цветными дисплеями, типа PDAs и сотовых телефонах.

Подобно другим светодиодам, светоди-

оду белого свечения необходим источник постоянного тока от 15 до 20 мА. Прямое напряжение на светодиоде составляет приблизительно 3,5 В.

Большинство приборов используют множество светодиодов для обеспечения требуемой подсветки дисплея. Поскольку яркость светодиода зависит от его прямого тока, светодиоды обычно соединяются по-



следовательно, для обеспечения одинакового тока через каждый из них.

Для создания прямого смещения на четырех последовательно соединенных светодиодах необходимо напряжение около 14 В. Такой уровень напряжения может обеспечить импульсный повышающий стабилизатор, который работает в диапазоне питающих напряжений от 2,7 до 4,2 В (на одиночной литиево-ионной батарее). Токочувствительный резистор, который устанавливается последовательно со светодиодами, закрывает контур обратной связи. Однако, важно минимизировать падение напряжения на этом резисторе, чтобы увеличить эффективность. В настоящее время интегральные повышающие регуляторы обычно используют 1,24 В межпороговой зоны напряжений как опорное напряжение обратной связи, т.о. потеря эффективности на токочувствительном резисторе составляет около 7 %.

На **рисунке** показана схема Д. Годе-

ра (Канада), в которой используется ИМС SP6682 в необычном назначении - для управления внешним ключом, транзистором Q1. ИМС SP6682 содержит внутренний генератор, работающий на частоте 500 кГц, который обычно на конденсаторе подкачки заряда удваивает входное напряжение. Но в предложенной схеме отсутствует конденсатор, а вместо этого с выв.7 генератор управляет работой транзистора Q1, открывая и закрывая его. Элементы цепи Q1, L1, D1 и C1 образуют схему обычного повышающего регулятора, который создает падение напряжения на конденсаторе C1. Когда это напряжение превышает сумму напряжений, падающих на диодах, через диоды протекает ток, вызывая их свечение. Ток, протекающий через R1 сравнивается с опорным напряжением 0,3 В внутри ИМС.

КПД устройства составляет около 87%, что превышает аналогичный показатель любого интегрального повышающего стабилизатора.

Маломощный ламповый усилитель класса А

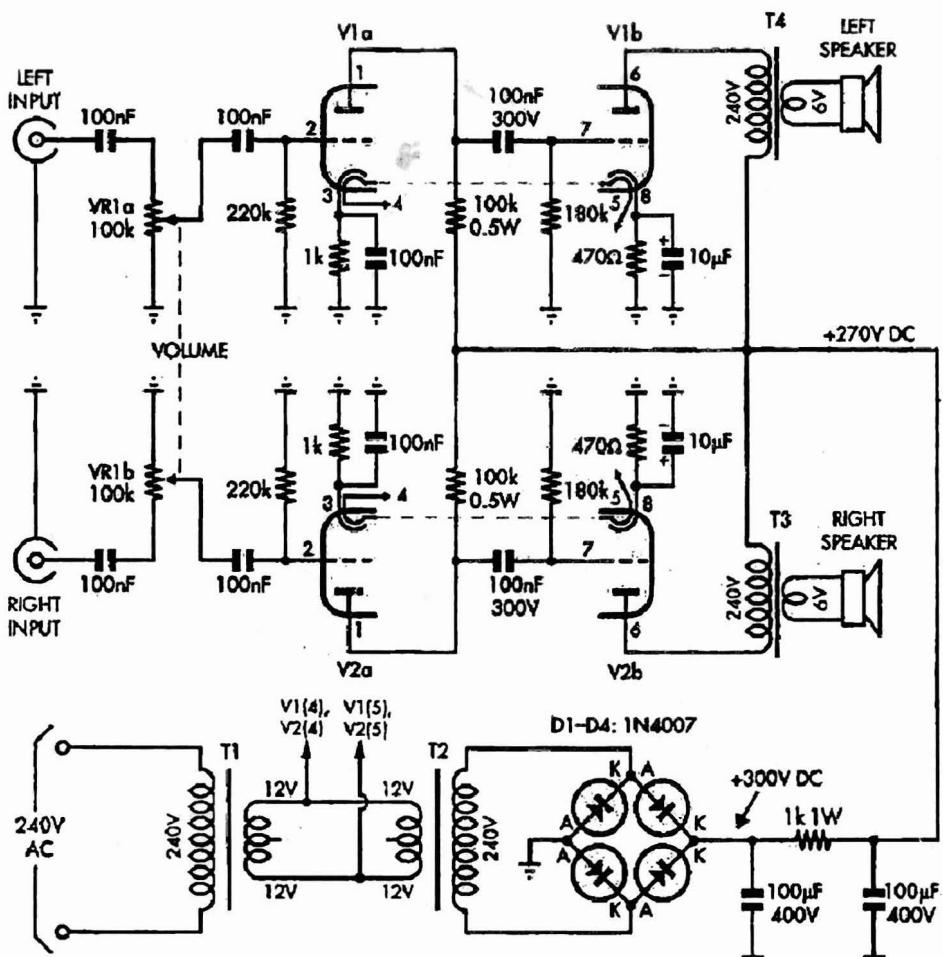
Ламповый стереоусилитель, схема которого показана на **рисунке**, собрал Д. Эдвардс (Новая Зеландия). В схеме используется два сдвоенных триода 12AX7 и низковольтные силовые трансформаторы для источника питания и выходных каскадов.

Источник питания построен на двух 12-вольтовых трансформаторах T1 и T2, соединенных таким образом, что они взаимно нагружают друг друга. Таким образом обеспечивается изолированное питание 240 В переменного тока. Это на-

пряжение выпрямляется и сглаживается, чтобы получить постоянное напряжение 300 В. В то же самое время, трансформатор T1 обеспечивает напряжение для нагревателей двух электронных ламп.

Второй триод каждой лампы 12AX7 используется как выходной каскад. С анода снимается напряжение 240 В на 6-вольтовый трансформатор, к которому подключен громкоговоритель с сопротивлением звуковой катушки 8 Ом.

Выходная мощность усилителя около 1 Вт на канал.



V1, V2: 12AU7/12AT7/12AX7/ECC81/ECC82

T1: 240V TO 12V AT 300mA

T2: 240V TO 12V AT 150mA

T3,T4: 240V TO 6V AT 150mA

**WARNING: DANGEROUS VOLTAGES
ARE PRESENT ON THIS CIRCUIT. DO
NOT BUILD IT UNLESS YOU KNOW
EXACTLY WHAT YOU ARE DOING**

D1-D4: 1N4007



12AU7/ECC81

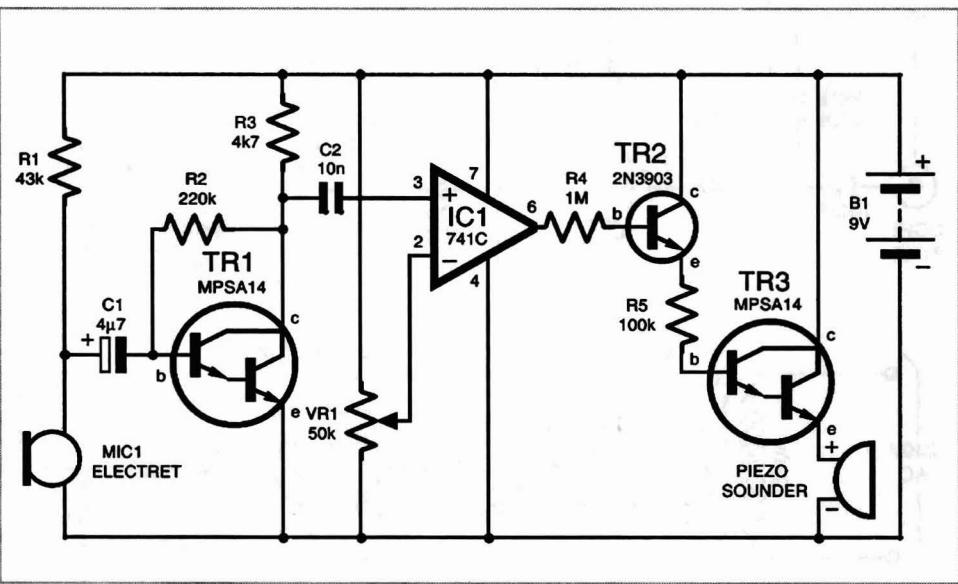


Обнаружитель звуков

Схема, изображенная на **рисунке**, - звукочувствительный включатель акустического пьезоизлучателя, который изготовлен М. Бег (Южная Африка). Всякий раз, когда микрофон обнаруживает звук устройство включает генератор прерывистого звукового сигнала. Такой прибор можно использовать как новую систему дверного звонка или обнаружитель звука в системе слежения.

Входной каскад содержит электретный микрофон MIC1 с усилителем на транзисторе

TR1. Операционный усилитель включен как компаратор с опорным напряжением на инвертирующем входе (выб. 2). Выходное напряжение ОУ усиливается дарлингтоновским транзистором, который нагружен пьезогенератором звукового сигнала. Таким образом, при обнаружении звуков устройство преобразовывает его в последовательность звуковых сигналов или одного длинного звукового сигнала при использовании монотонного пьезоизлучателя.

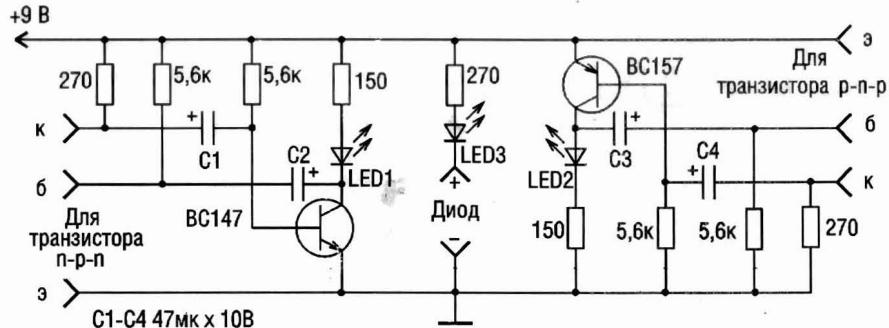


Тестер полупроводниковых элементов

На **рисунке** показана схема тестера, с помощью которого можно проверить исправность полупроводниковых диодов и

биполярных транзисторов р-п-р и п-р-п структуры.

Тестер можно условно разделить на три



части. Первая часть - для проверки исправности биполярного транзистора n-p-n структуры. Если транзистор не подключен, тогда светится индикатор LED1. При подключении исправного транзистора в первой части тестера образуется цепь мультивибратора и индикатор LED1 будет мигать, в противном случае индикатор светиться не будет.

Вторая часть тестера предназначена

для проверки исправности биполярного транзистора p-n-p структуры. Принцип измерения и режимы индикации светодиода LED2 аналогичны таковым первой части тестера.

Индикатором третьей части тестера служит светодиод LED3. При подключении к соответствующим контактам исправного диода индикатор LED3 будет светиться.

Беспроводной микрофон

На рис. 1 показана схема радиомикрофона, который сделал Я. Мартинский (Чехия). В устройстве применен электretный микрофон, который питается через резистор R2. Низкочастотный сигнал усиливается транзистором T2 и подается в качестве модулирующего

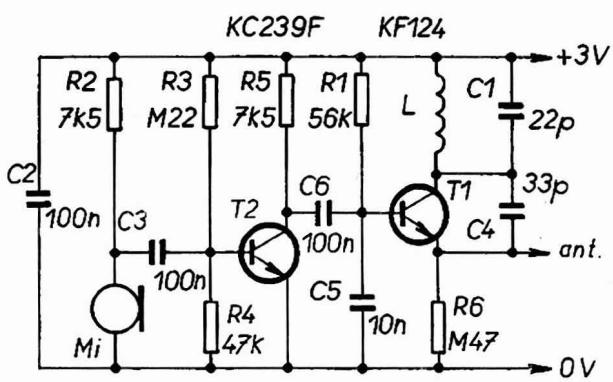


Рис. 1

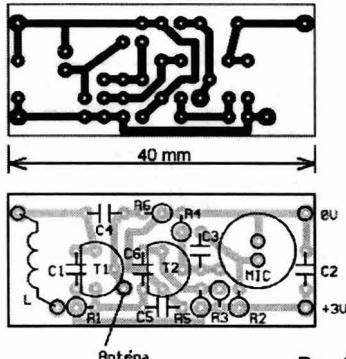


Рис.2

на генератор, собранный на транзисторе Т1. Катушка индуктивности L имеет 5 витков провода диаметром 0,7 мм, навитых на сердечнике диаметром 0,5 мм. С эмиттера транзистора сигнала подается на антенну в виде провода длиной около 30 см.

Сигнал от радиомикрофона можно услышать в FM диапазоне, в полосе частот от 100 до 108 МГц.

Размеры односторонней печатной платы и размещение на ней элементов показано на **рис.2**.

Высококачественный маломощный генератор треугольного сигнала

Сигналы треугольной формы находят применение в системах радиосвязи, при обработке сигналов, для передачи и детектирования цифровых сигналов в широтно-импульсной модуляции.

Треугольный сигнал идеальной формы содержит большое количество нечетных гармоник, занимающих широкий диапазон частот. Поэтому оказывается проблематичным создание качественного треугольного сигнала в микромощных цепях с узким частотным диапазоном.

На **рис.1** показан простой метод генерации треугольного сигнала на одиночном компараторе. В схеме используется релаксационно-генераторный подход с треугольной аппроксимацией функции экспоненциального характера.

Для получения лучшей линейнос-

ти сигнала добавляют интегратор (**рис.2**), улучшающий треугольную аппроксимацию.

Обе схемы включают гистерезисную обратную связь, RC-связь или обратную связь интег-

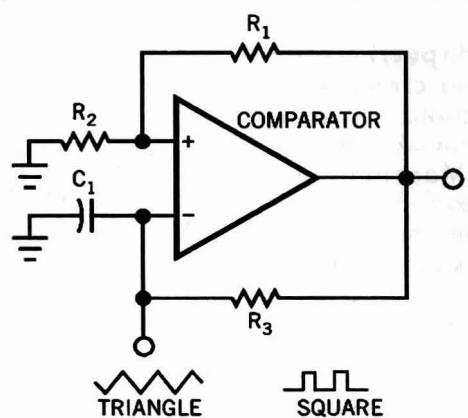


Рис.1

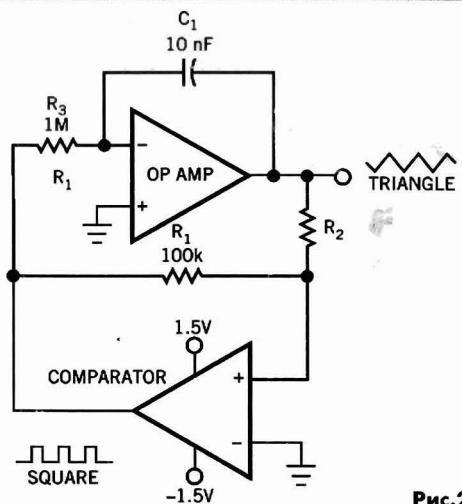


Рис.2

ратора, включающую R_3 и C_1 . Гистерезисный обратный тракт обеспечивает изменение направления интегрирования, а RC интегратор устанавливает скорость изменения напряжения.

Эти схемы находят широкое применение. Проблема возникает, когда требуется построить генератор треугольного сигнала с малой потребляемой мощностью и высоким быстродействием. Каждый раз компаратор полностью изменяет направление тока, проходящего через ОУ, воздействуя два контура обратной связи. При этом количество тока переключения больше, чем полный ток питания усилителя. В результате искажается форма волны, так как ОУ не может обеспечивать мгновенные токи переключения. Можно несколько улучшить линейность треугольной формы сигнала, увеличивая номиналы резистора и уменьшая емкость конденсатора. Однако, тогда в цепях появляется больше шумов и снижается стабильность работы устройства.

На рис.3 показана схема Г. Бриебоиса (США), в которой он применил КМОП инвертор в качестве переключателя. В отличие от схемы, показанной на рис.2, ОУ не должен обеспечивать мгновенный ток переключения, а лишь гарантировать линеаризацию тока. Вместо мгновенного изменения полярности тока на выходе в пиках треугольника, ток на выходе ОУ медленно пересекает ноль напряжение питания.

Высококачественный генератор треугольного сигнала потребляет всего 6 мкА на рабочей частоте 280 Гц.

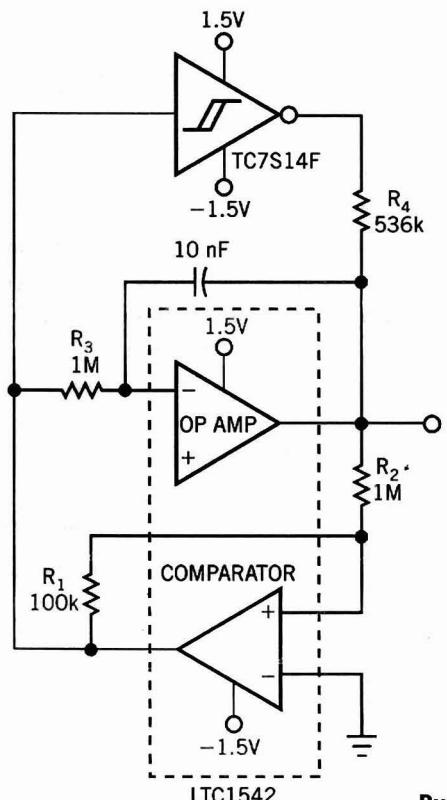


Рис.3

НЧ фильтр для зашумленного ступенчатого сигнала

В многочисленных промышленных устройствах, например в системах управления, чтобы эффективно выделить информационный сигнал постоянного напряжения, необходимо удалить всевозможные помехи, оставив самые низкие частотные компоненты сигнала. Это напряжение может, например, служить установочным в ПИД-управлении производственным процессом, отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха. В кабеле, по которому передается аналоговый сигнал, происходит сильное зашумление в широком частотном спектре, включая низкочастотные шумовые компоненты из различных источников. В качестве источников помех могут выступать приводы с регулируемой скоростью, балластные сопротивления (например, разрядных ламп), переходные процессы от переключения механизмов и двигателей.

Во многих случаях для подавления кабельных шумов используют обычный фильтр низких частот, но во время переходных процессов при управлении устройствами даже многополюсный фильтр может создавать нежелательные эффекты.

Э. Десрочерс (США) разработал уникальный НЧ фильтр, схема которого показана на **рис. 1**. Фильтр обеспечивает подавление шумов в широком спектре частот и при этом не оказывает влияния на работу системы, за счет быстрых изменений сигнального уровня.

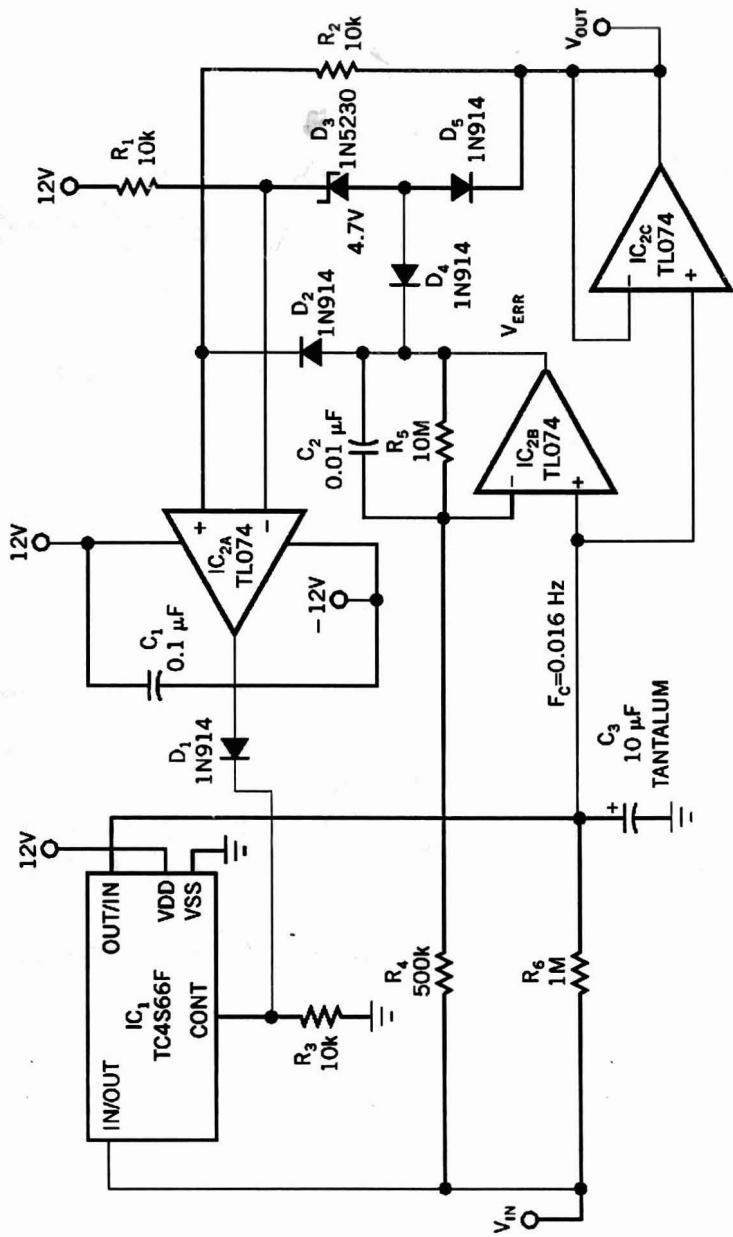
На вход фильтра V_{IN} из кабеля подается смесь сигналов и помех. После скачкообразного изменения уровня сигнала, срабатывает система обнаружения и с помощью аналогового ключа IC_1 увеличивается частота среза НЧ фильтра, построенного на R_6

и C_3 . Ключ IC_1 имеет сопротивление в открытом состоянии приблизительно 100 Ом и когда он шунтирует резистор R_6 , частота среза цепи изменяется от 0,016 до 160 Гц. Такой ширины диапазона частот фильтра достаточно для прохождения полезного сигнала.

ОУ IC_{2B} с элементами R_4 , R_5 и C_2 работает как усилитель сигнала ошибки (рассогласования) с угловой частотой $f_{CERR}=1/2\pi R_5 C_2=1,59$ Гц. Усилитель вырабатывает сигнал рассогласования V_{ERR} , который сравнивается с опорным напряжением V_{out} на компараторе IC_{2A} . ОУ IC_{2A} работает как двухпороговый компаратор со скользящим окном, в котором изменяются параметры НЧ фильтра, когда V_{ERR} превышает порог, установленный стабилитроном D_3 .

Если напряжение V_{ERR} больше, чем V_{OUT} , то через диод D_2 напряжение рассогласования поступает на прямой вход компаратора IC_{2A} , где сравнивается с пороговым напряжением $V_{OUT} + 5,2$ В на его инвертирующем входе. При отрицательном скачкообразном изменении на входе ($V_{IN} < V_{OUT}$) V_{IN} имеет достаточную амплитуду, такую что V_{ERR} будет приблизительно равно 5,7 В (с учетом барьера потенциала D_2), и на выходе IC_{2A} установится высокий уровень. Следовательно, сработает ключ IC_1 , закорачивая сопротивление R_6 .

Когда напряжение V_{ERR} ниже V_{OUT} , в цепи происходят те же процессы, за исключением того, что на вход инвертирования IC_{2A} поступает V_{ERR} через D_3 , D_4 и выход



компаратора переключается на высокое состояние, когда V_{ERR} будет приблизительно 5,2 В.

Хотя асимметрия в работе двухпорогового компаратора не имеет существенного влияния, можно улучшить симметрию, заменяя диод D_2 диодом Шотки, который имеет более низкий барьерный потенциал.

Отношение резисторов R_5/R_4 определяет верхнюю и нижнюю границу зоны нечувствительности. С номиналами, показанными на схеме, устройство срабатывает в ответ на отрицательное скачкообразное изменение входного сигнала всего на 0,26 В и на положительное скачкообразное изменение - 0,285 В. Чувствительность устройства можно улучшить, уменьшая напряжение стабилитрона D_3 или увеличивая отношение R_5/R_4 . При этом усилитель сигнала ошибки должен обеспечивать адекватный завал крутизны характеристики, чтобы шумовые уровни не могли переключать фильтр.

Другим важным параметром при выборе номиналов компонентов каскада усилителя ошибки является переходная характеристика, которая определяет быстродействие устройства, когда появляется скачкообразное изменение в сигнале. Начальным может быть выбор номиналов R_5 и C_2 такими, чтобы три постоянных времени RC -цепи, которую они формируют, находились в пределах времени установления процесса, желательного для НЧ фильтра. Например, с номиналами $R_5 = 10 \text{ МОм}$ и $C_2 = 0,01 \text{ мкФ}$ $3\tau = 0,3 \text{ с}$.

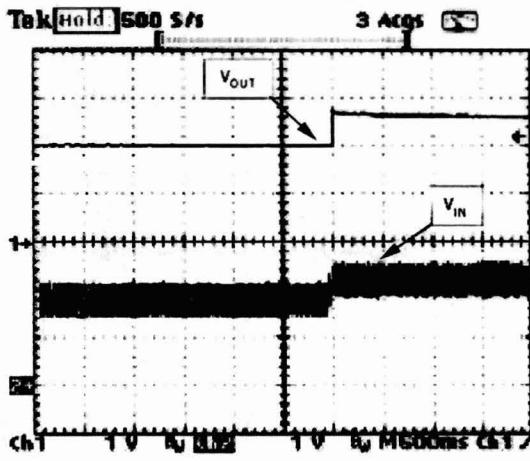


Рис.2

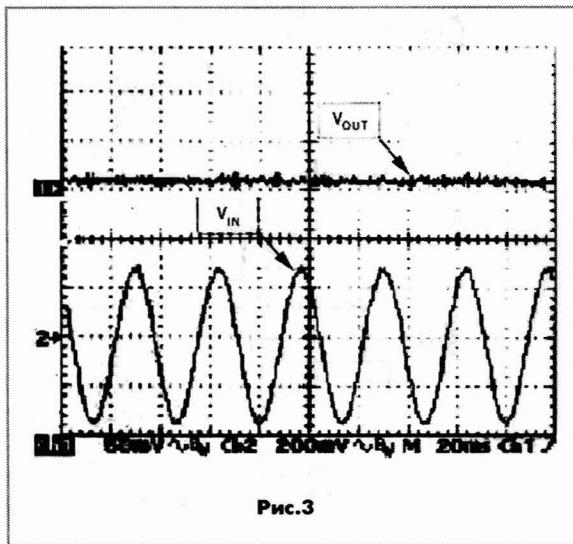


Рис.3

На **рис.2** показано выделение НЧ фильтром скачкообразного сигнала напряжением 600 мВ, который поступает на вход с шумовой помехой амплитудой 640 мВ и частотой 30 Гц.

На **рис.3** показана работа фильтра в установившемся состоянии, выполняется ослабление на 65 дБ сигнала частотой 30 Гц.

Сетевой индикатор последовательности фаз на пассивных элементах

Индикатор, определяющий последовательность фаз в трехфазной цепи, можно построить на нескольких пассивных компонентах.

В трехфазной сети источник питания развивает три одинаковых по амплитуде и частоте напряжения, которые сдвинуты по фазе друг относительно друга на 120° последовательно по проводам (фазам). Для установления правильной последовательности фаз существуют два варианта. В первом варианте на второй фазе имеется задержка на 120° относительно первой, а в третьей - еще на 120° относительно второй. Во втором варианте последовательность фаз обратная: на второй фазе существует опережение на 120° относительно первой, а на третьей фазе - опережение на 120° относительно второй. Кроме этих двух нормальных последовательностей фаз существует еще ряд случайных последовательностей, которые являются просто перепутыванием фаз. Поэтому необходим прибор, который устанавливает порядок следования фаз не только для установки их следования по порядку, но и для того, чтобы трехфазный мотор вращался в нужном направлении.

На **рис. 1** показана основная схема, которая может показывать порядок следования фаз. Соблюдаются следующие условия. Напряжения на R_1 и C_2 равны, т.е. их амплитуды и фазы равны, но только в том случае, когда V_{S2} отстает на 120° от V_{S1} , что показывает нормальный порядок следования фаз. В этом случае напряже-

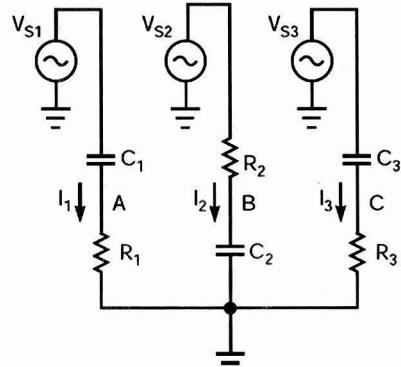


Рис. 1

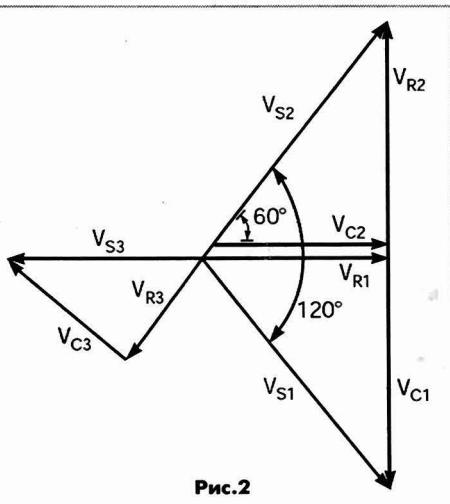


Рис. 2

ние между точками А и В равно нулю. Наоборот, напряжения на C_2 и R_3 равны только в случае, когда V_{S2} опережает

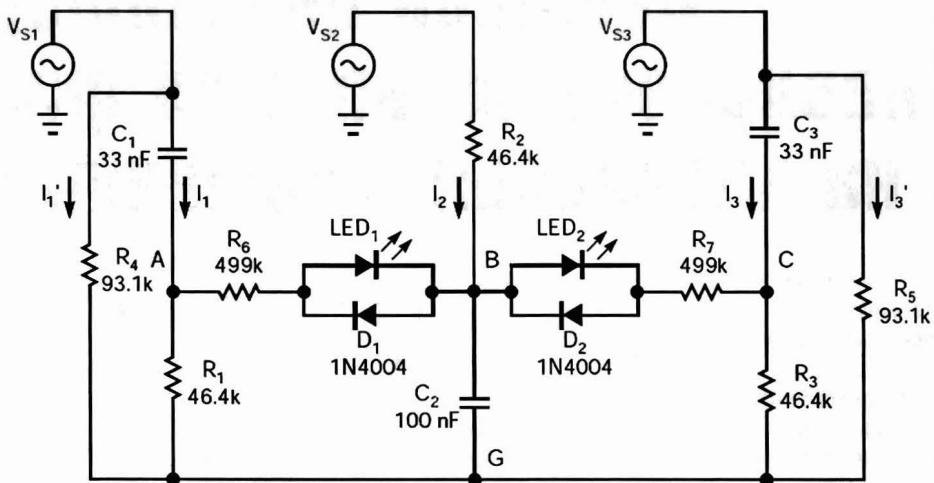


Рис.3

V_{S1} на 120° , что означает обратную последовательность фаз.

Если обратиться к фазовой диаграмме (рис.2), когда напряжения на $R1$ и $C2$ равны, то

$$V_{C1} = -V_{R2}, V_{C1} + V_{R1} = V_{S1} \text{ и } V_{C2} + V_{R2} = V_{S2}.$$

Этим условиям отвечают следующие уравнения:

$$|V_{R1}| = |V_{C2}| = 1/2|V_{S2}| = 1/2|V_{S1}|,$$

$$|V_{C1}| = |V_{R2}| = \cos 30^\circ |V_{S1}| = \cos 30^\circ |V_{S2}|.$$

Величины компонентов рассчитываются решением таких уравнений:

$$|X_{C1}| = \operatorname{tg} 60^\circ R1 = (3R1)^{0.5} \text{ и } R2 = \operatorname{tg} 60^\circ |X_{C2}|,$$

где $X_C = -j[1/(2\pi fC)]$, f - частота напряжения V_S .

Чтобы обнаружить обратную последовательность фаз, нужно, чтобы $R1=R3$ и $C1=C3$, т.е. компоненты в третьей ветви схемы рис.1 должны быть идентичны компонентам в первой ветви. На рис.3 показана схема, предложенная журналом EDN, для обнаружения фазовой последовательности. Требования к земляной ши-

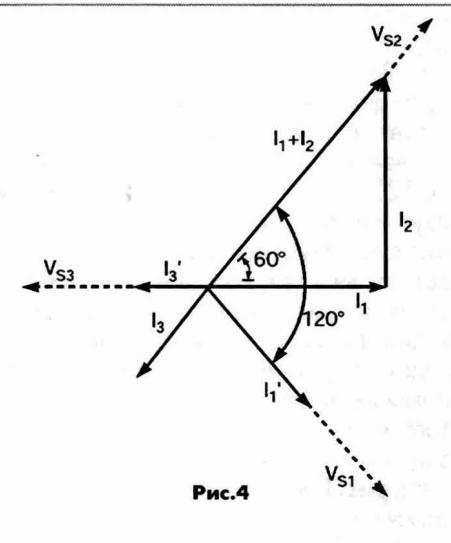


Рис.4

не уменьшены путем добавления резисторов $R4$ и $R5$, включенных в параллель к первой и третьей ветвям.

Чтобы между точкой G и земляной шиной не было тока, сумма токов во всех трех ветвях должна равняться нулю. Если

отсоединить точку G от земляной шины, то потенциал по отношению к земле будет равняться нулю. Если соотношения X_{C1} к $R1$, X_{C2} к $R2$ и X_{C3} к $R3$ соблюдаются, то сохраняется равенство напряжений в точках A, B и C. Умножение значений компонентов ветвей на постоянную величину ничего не меняет. Диаграмма фаз токов цепи рис.3 показана на **рис.4**.

Из этой диаграммы следует, если $|I_2| = \text{tg}60^\circ |I_1|$, тогда $I_1 + I_2 = -2I_3$, т.е. I_3 имеет амплитуду, равную половине суммы $I_1 + I_2$ и противоположную фазу.

Светодиоды LED1 и LED2 показывают последовательность фаз. При правильной последовательности будет светиться

только LED2, напряжение между точками A и B равно нулю. В случае обратной последовательности фаз будет светиться LED1. Если в одной из фаз нет напряжения, светятся оба светодиода. Диоды, включенные параллельно светодиодам, защищают их от пробоя при обратном напряжении, а резисторы R6 и R7 ограничивают прямой ток через светодиоды. Светодиоды можно заменить другими элементами индикации, но обязательно с высоким импедансом.

В схеме рис.3 резисторы $R1=R2=R3=1/(2\pi fC1 \text{tg}60^\circ)$, $C1=C3$, а вот $C2=3C1$. Резисторы R4 и R5 вдвое больше, чем $R1=R2=R3$. Токи через светодиодные цепи должны быть существенно меньше токов в ветвях.

Удаленное использование дифференциального усилителя без источника питания

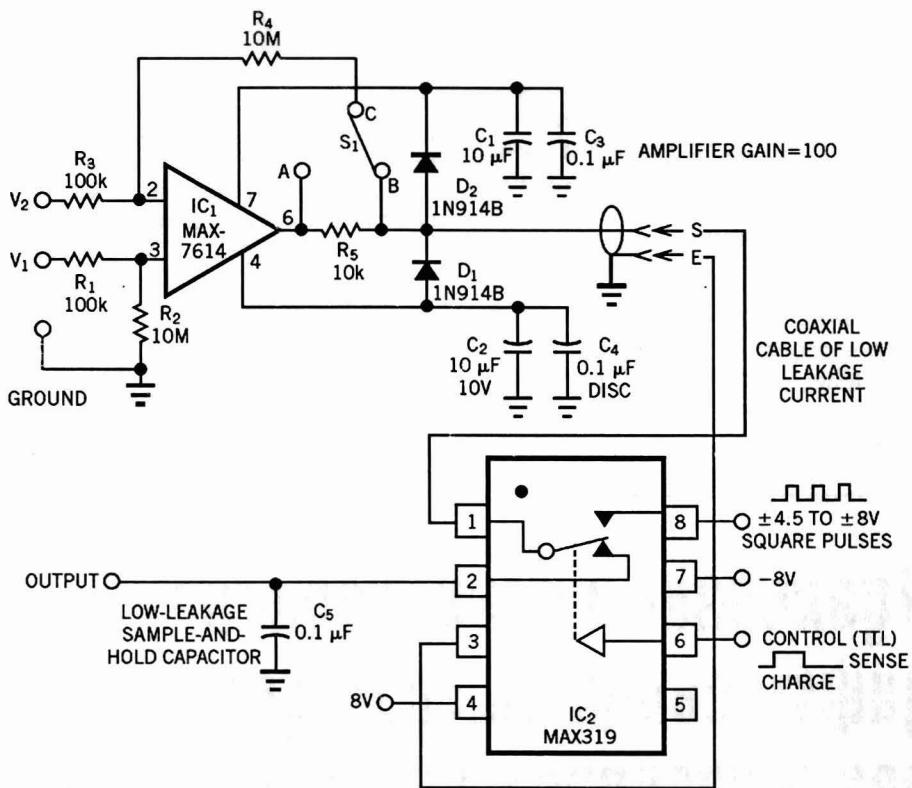
Как оказалось, и это доказал индийский разработчик Sensor Technology Private Шиам Тиари, можно использовать высокоимпедансный дифференциальный усилитель без источника питания в устройствах, находящихся на значительном удалении от базовой системы.

На **рисунке** показана схема реализации взаимодействия устройств на значительном удалении.

Для управления работой дифференциального усилителя по сигнальному коаксиальному кабелю используется аналоговый ключ IC2 MAX319. В момент времени, когда на управляющем выводе 6 аналогового ключа IC2 присутствует высокий уро-

вень (ПТЛ), с его вывода 1 в сигнальный кабель подается последовательность прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности размахом от 4,5 до 8 В. Импульсы положительной полярности заряжают электролитический конденсатор C1 через диод D2, а импульсы отрицательной полярности - электролитический конденсатор C2 через диод D1.

В то же самое время на выходе используется конденсатор селективной задержки C5 для сохранения последнего аналогового сигнала в течение очередного зарядного цикла. Таким образом, схема не теряет сигнал, пока находится в режиме заряда конденсаторов C1 и C2. Емкость по-



следних можно увеличить, если требуется значительно больше времени для измерения, чем времени для заряда конденсаторов.

Переключателем S_1 подключается резистор обратной связи R_4 прямо к конденсатору C_5 , который с резистором R_5 формируют фильтр НЧ, когда схема работает в режиме приема сигнала. В режиме заряда сопротивление R_5 защищает выход усилителя IC1. Дифференциальный усилитель MAX319 - улучшенная версия ICL7611. Это устройство использовалось для усиле-

ния сигнала термоэлемента без коррекции холодной термопары. Ее можно также использовать для биполярного слабо токового сигнального усиления с диапазоном от ± 10 пА до ± 1 нА, используя резистор R_4 для преобразования ток-напряжение.

Применение дифференциального усилителя с биполярным выходом намного лучше униполярного, который к тому же имеет лучший коэффициент ослабления синфазного сигнала.