

УДК 658.5.122:621.382.33:621.314.572.

А. А. ВАРДАНИЯН, Г. А. МАКАРЯН, А. С. ШАБОЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ОПТИМАЛЬНОГО
КОНСТРУИРОВАНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ДИОДОВ
ДЛЯ РАБОТЫ В ИНВЕРТОРНЫХ СХЕМАХ

Обсуждены особенности работы транзисторных ключевых элементов в инверторных схемах с точки зрения работы в инверсных режимах. Проведен анализ принципов создания на базе гибридной и интегральной технологий быстродействующих диодов в составе транзисторного ключа с обратной проводимостью.

Обсуждаются также различные пути повышения быстродействия и регулирования характеристик обратного восстановления диодной части структур.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

Քննարկված են շրջադառի սխեմաներում տրանզիստորային բաժանիչների աշխատանքային առանձնահատկությունները հակադարձ ուժիմում աշխատելու, անասկետից, Կատարված է հակադարձ ճազարդակակոմիջամբ տրանզիստորային բաժանիչների կազմում հիբրիդային և փնակդրայ տեխնոլոգիաների ֆիման վրա տրայզ վերականգնվող դիոդների ստեղծման վերլուծություն: Քննարկված են նաև կառուցվածքի դիոդային մասի արագացրծություն բարձրացման և հակադարձ վերականգնման բնութագրերի կարգավորման սարքեր ուղիները:

Транзисторные ключевые элементы с обратной проводимостью могут быть использованы в целом классе силовых инверторных схем, где силовой транзистор шунтируется встречно-параллельным быстродействующим диодом [1].

В мостовых и полумостовых схемах транзисторных инверторов, являющихся основным узлом регулируемого электропривода, при работе на активно-индуктивную нагрузку возникают инверсные режимы работы у ключевого транзистора. При этом амплитуда инверсного тока из-за свойства индуктивности сохранять величину тока почти равняется амплитуде прямого тока. У дискретных силовых транзисторов способность пропускания инверсного тока существенно ниже по сравнению с величиной прямого тока. В связи с этим практически во всех схемах силовых инверторов силовые транзисторы шунтируются обратно включенными диодами, предназначенными для пропускания обратных токов инверторной цепи.

На практике в транзисторных ключах с обратной проводимостью быстродействующий диод в цепи «коллектор-эмиттер» транзистора подключается либо по гибридной технологии, либо создается интегрально на основе коллекторного перехода $p-n-p-n$ транзисторной структуры. При этом $p-n-n$ диодная структура создается по периферии, либо в центре транзисторной структуры (рис. 1), а высокое быстродействие достигается путем локального электронного об-

лучения диодной части структуры [2, 3], либо локальной диффузией атомов золота или платины.

Основные требования к параметрам встречно-параллельного диода определяются особенностями рекуперативных процессов при инвертировании напряжения в мостовых схемах и свойствами самого биполярного транзистора. Они сводятся к обеспечению минимального прямого падения U_F при максимальном значении прямого тока диода I_F и минимальном значении времени восстановления t_{RR} . Для безопасной работы транзисторов чрезвычайно важна форма и амплитуда тока I_{RR} при обратном восстановлении диода.

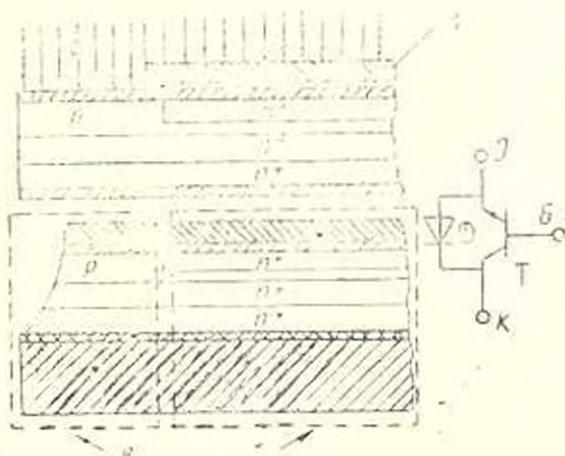


Рис. 1. Схема подключения быстродействующего диода в цепь «коллектор-эмиттер» транзистора и поперечный разрез $p-n-p-n$ транзисторной структуры с $p-n-p-n$ диодом, созданным по периферии на основе коллекторного перехода

В последнее время появление новых видов быстродействующих ключевых элементов — биполярных, биполярно-полевых IGBT и MOSFET транзисторов стимулировало существенное повышение рабочих частот электроприводов для регулирования скорости двигателей. Повышение частотных характеристик диктовало нахождение новых концепций создания быстродействующих диодов, в том числе на основе принципа униполярного протекания тока [4].

На практике значение блокирующего напряжения быстродействующих диодов U_{BR} для инверторных схем, непосредственно питающихся от сети 380 В, находится на уровне 900...1000 В, а значение максимального I_F — от десятка до сотни ампер [3]. При этом требование сохранения низкого значения U_F на уровне до 1...1,5 В сводится к тому, чтобы иметь минимально возможные значения толщины W_{n+} и удельного сопротивления в n^+ слое базы диода, обеспечивающего U_{BR} при сохранении большого значения диффузионной длины дырок L_p в этом слое.

Форма тока обратного восстановления диода схематически показана на рис. 1. Обычно пиковое значение I_{RR} бывает равным по величине I_F . Этот ток протекает через транзисторы, увеличивая их рассеиваемую мощность и вероятность пробоя.

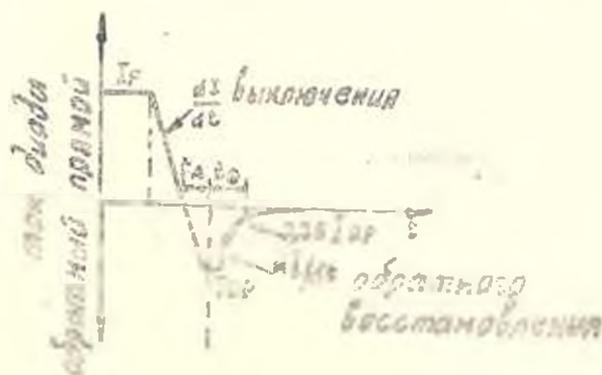


Рис. 1. Форма тока обратного восстановления диода.

Обратное восстановление диода—это процесс, при котором прибор переключается из открытого состояния в состояние обратного блокирования. Для реализации этого перехода из n^- области должен быть удален весь накопленный избыточный заряд неосновных носителей. Снятие накопленного заряда протекает за счет двух процессов—протекания обратного тока и рекомбинации. Традиционно наиболее простой подход регулирования скорости переключения диода—это создание в n^- области базы рекомбинационных центров. Исходя из принципа управления зарядом, можно написать следующее приближенное соотношение между плотностью инжектированных в n^- слое шириной W_n -носителей Δn и прямого тока I_F :

$$\Delta n = \frac{\tau_p}{e W_n} I_F \quad (1)$$

где e — заряд электрона.

Из этого уравнения следует, что если высокий уровень жизни дырок τ_p при инжекции уменьшается, средняя плотность носителей в n^- области пропорционально понижается. С другой стороны для заряда ΔQ , накопленного в n^- области, можно написать

$$\Delta Q = 2e W_n \Delta n \quad \text{или} \quad \Delta Q = \tau_p I_F \quad (2)$$

Если форму импульса тока обратного восстановления на рис. 2 аппроксимировать как треугольник с базой $(t_A + t_B)$ и высотой I_{RR} , то заряд обратного восстановления представляется

$$Q_{RR} = \frac{1}{2} I_{RR} (t_A + t_B) \quad (3)$$

Приравнивая заряд обратного восстановления с накопленным зарядом, нетрудно получить соотношение между временами обратного восстановления и жизни t_p :

$$t_{\text{об}} = (t_1 + t_2) = 2 \frac{\tau_1 I_c}{I_{\text{до}}} \quad (4)$$

Уменьшение времени жизни до требуемого уровня может быть осуществлено несколькими технологическими способами. Среди множества возможных подходов наиболее хорошо известны диффузия золота и платины, а также использование высокоэнергетического электронного облучения. Эксперименты показывают, что наилучшее сочетание параметров получается при легировании золотом и относительно хуже — при электронном облучении. Вместе с тем использование электронного облучения при температурах порядка 300°C дает неплохие результаты с точки зрения получения приемлемого компромисса между характеристиками диода [5].

На процессы обратного восстановления диодов могут также влиять физические процессы, происходящие в области омических контактов со стороны анода и катода. Обычно в контакт к катоду в $p-n-n$ структура диода создается с легированным n слоем. Внутреннее пространство $n-n$ переход создает омический контакт для основных носителей. Этот контакт беспрепятственно позволяет перевод электронов из n^- области в n^+ область и создает внутреннее электрическое поле E из-за градиента концентрации доноров N_D на границе $n^- - n^+$ перехода

$$E = \frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{N_D} \cdot \frac{dN_D}{dx} \quad (5)$$

где $\frac{kT}{q}$ — тепловой потенциал.

В работе [6] была предложена конструкция прозрачного для обоих типов носителей омического контакта со стороны катода, который беспрепятственно способен пропускать и дырки, и электроны, состоящий из чередующихся n^+ и p^+ -областей мозаичного типа со стороны катода. В предложенной конструкции p^+ область обеспечивает омический переход дырок.

Двухключевой транзисторный модуль МТКД2-20 на постоянный ток 20 А напряжением 900 В содержит интегральные обратные диоды в центрах транзисторных структур, имеющих время обратного восстановления менее 500 нс.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шабоян С. А., Бардикин А. А., Тателосян Р. Г. Силовые биполярные транзисторы и транзисторные модули // Электротехника. — 1988. — № 5 — С. 30—33.
2. А. с. 1202458 СССР, МКН НОИ 21/44. Способ изготовления силовых транзисторов / А. А. Вяздяня, Р. Г. Тателосян (СССР). — № 3667933/24—25; Заяв. 30.11.83; Олubl. 01.09.85.

3. *Варданян А. А. и др. Силовые быстродействующие диоды ДЧ135//Промышленность Армении—1988.—№ 8.—С. 59—61.*
4. *Baliga V. J., The pinch rectifier: A low forward drop high speed power diode//IEEE Elec. Dev. Lett., EDL..— 1984—5 — p. 194—196.*
5. *Baliga V. J., Sun E. Comparison of gold, Platinum and electron irradiation for controlling lifetime in power rectifiers//IEEE Trans. Elec. Dev. ED 1977—24 — p. 685—688.*
6. *Ametijan J., Suge'a T., Mizushima J. Novel low-loss and high speed diode utilizing an ideal ohmic contact//IEEE Trans. Elec. Dev, ED 1982—29 — p. 236—243.*