

УДК 621.316.91

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЛЕ МОЩНОСТИ

Степанов Д.А.

Научный руководитель – Кленовская И.С., старший преподаватель

Различные полупроводниковые устройства, такие как диоды, тиристоры, транзисторы, симисторы и многие другие, уже давно находят применение во всевозможных областях техники для коммутации электрических цепей. Полупроводниковая революция также коснулась и реле. На сегодняшний день имеется возможность создавать достаточно мощные и стойкие коммутаторы уже и на полупроводниках.

Реле мощности представляет собой электрическое реле, которое рассчитано на срабатывание при определенных значениях мощности внешней цепи. На данный момент различные разновидности полупроводниковых реле мощности изготавливают многие промышленные предприятия. Рассмотрим более подробно одну из возможных реализаций данного реле на базе микроэлектронных компонентов (рис. 1).

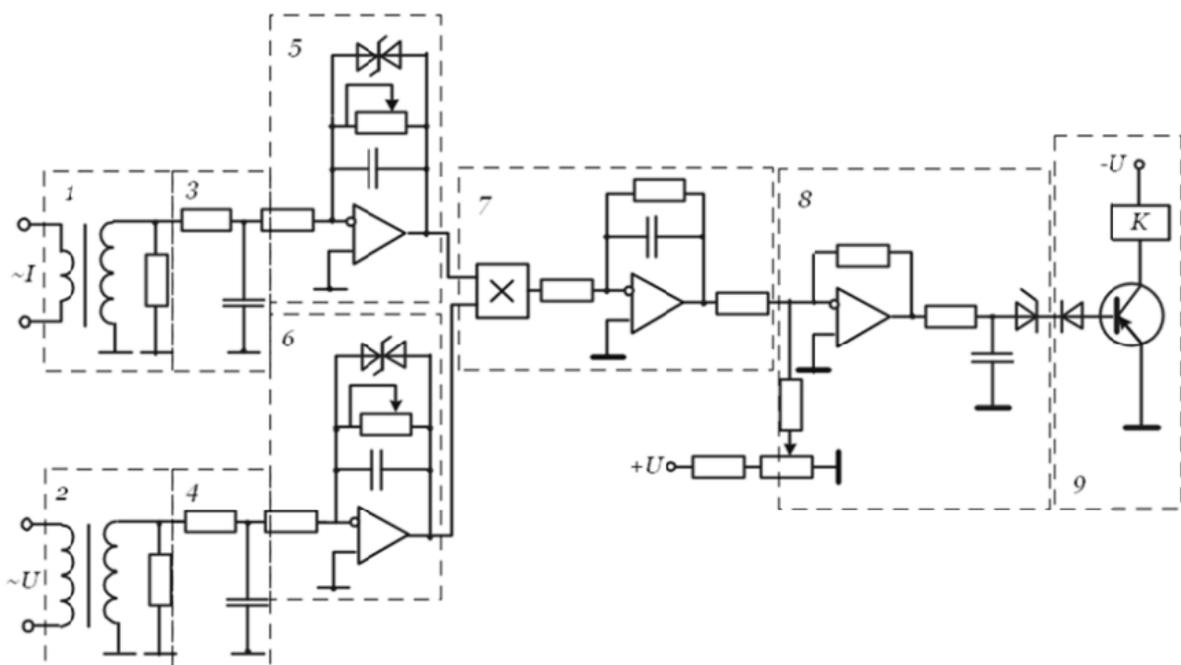


Рис. 1. Принципиальная схема полупроводникового реле мощности

Данное реле состоит из входных преобразователей тока 1 и напряжения 2; двух фильтров низких частот 3 и 4; усилителей-ограничителей 5, 6; детектора знака активной мощности 7, который реализован на основе таких элементов, как интегратор и перемножитель; порогового элемента 8, изготовленного на компараторе; исполнительного блока 9.

Через входные преобразователи реле мощности на фильтры низких частот поступают необходимые данные о токе и напряжении управляемого объекта. Затем происходит формирование желаемых амплитудно-частотных характеристик каналов тока и напряжения с помощью ранее упомянутых усилителей-ограничителей и фильтров низких частот. С использованием перемножителя и интегратора сигналы, которые подаются на входы детектора знака активной мощности, должны превратиться в сигнал, пропорциональный активной мощности.

Как правило, в случае появления какой-либо неисправности на напряженческий вход данного реле подаётся определенный сигнал, который можно описать следующим выражением:

$$U(t) = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + U_{nm} \sin(n\omega t + \psi_n), \quad (1)$$

где  $U_0$  – постоянная составляющая;  $U_{1m}$  – амплитуда первой гармоники;  $U_{2m}, \dots, U_{nm}$  – амплитуды последующих гармоник;  $\psi_1, \dots, \psi_{1n}$  – начальные фазы соответствующих гармоник.

Электрический сигнал, который поступает на токовый вход, можно представить следующим образом:

$$I(t) = I_0 + I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1 - \varphi_1) + \dots + I_{nm} \sin(n\omega t + \psi_n - \varphi_n), \quad (2)$$

где  $\varphi_1, \dots, \varphi_n$  – углы сдвига между гармониками тока и напряжения.

Среднюю мощность в цепи контролируемого объекта можно определить по следующей формуле:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t)I(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T (U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + \dots + U_{nm} \sin(n\omega t + \psi_n)) \cdot (I_0 + I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + \dots + I_{nm} \sin(n\omega t + \psi_n))dt. \quad (3)$$

После перемножения многочленов получим сумму интегралов, которые можно разделить на 5 групп. В первую группу входит один интеграл, имеющий вид:

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_0 dt = U_0 I_0. \quad (4)$$

Во вторую группу войдут интегралы, содержащие произведение синусоид одинаковой частоты:

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_{km} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k) dt = U_{km} I_{km} \cos \varphi_k. \quad (5)$$

Во третью группу войдут интегралы, содержащие произведение синусоид различной частоты:

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_{km} I_{lm} \sin(k\omega t + \psi_k) \sin(l\omega t + \psi_l - \varphi_l) dt = 0. \quad (6)$$

В четвёртую группу войдут интегралы следующего вида:

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k) dt = 0. \quad (7)$$

В пятую группу войдут интегралы следующего вида:

$$\frac{1}{T} \int_0^T I_0 U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) dt = 0. \quad (8)$$

В результате средняя мощность в цепи некоторого защищаемого объекта определяется следующим выражением:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n. \quad (9)$$

После перемножителя и интегратора сигнал по знаку определяется направлением тока в цепи. Также он становится пропорциональным активной мощности.

Полупроводниковым реле мощности свойственны большая чувствительность и высокая точность. Они требуют меньших затрат при эксплуатации, а также обладают меньшей потребляемой мощностью, по сравнению с индукционными реле.

#### *Литература*

1. Полупроводниковые реле[Электронный ресурс] / Полупроводниковые реле. Виды, устройство и принцип работы. – Режим доступа:

<https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/1876-poluprovodnikovye-rele-vidy-ustrojstvo.html>. – Дата доступа: 02.05.2024.

2. Копьев, В.Н. / Релейная защита / В.Н. Копьев // Издательство Томского политехнического университета. – Томск, 2011. – С. 60 – 62.

УДК 81.322

## **ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ В КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

Поляков Н.П.

Научный руководитель – Бадак Б.А., старший преподаватель кафедры  
«Высшая математика»

В нашем информационном веке, где мгновенный обмен данными и связь стали неотъемлемой частью повседневной жизни, эффективное функционирование коммуникационных сетей становится вопросом первостепенной важности. Коммуникационные сети являются основой современной информационной инфраструктуры, обеспечивая передачу данных между различными устройствами и системами по всему миру. Они не только поддерживают социальные связи и деловые процессы, но и обеспечивают функционирование критически важных систем, таких как медицинские учреждения, финансовые институты и государственные учреждения. Однако, с увеличением размеров и сложности сетей возникают новые вызовы, которые требуют новых подходов к их анализу и управлению. Именно здесь теория множеств может предложить ценные инструменты и методы для решения этих проблем.

Теория множеств представляет собой фундаментальную область математики, изучающую свойства и отношения множеств, которые являются абстрактными коллекциями объектов[1]. В ее основе лежит ряд базовых понятий и операций, позволяющих определять и работать с множествами.

Коммуникационные сети представляют собой системы, обеспечивающие передачу данных и обмен информацией между различными устройствами и компьютерами. Они служат основой для современной информационной инфраструктуры, обеспечивая связь между людьми, компаниями и государствами. Коммуникационные сети могут быть разделены на различные типы в зависимости от их масштаба, технологии передачи данных и охвата.

Коммуникационные сети могут быть классифицированы по различным критериям, таким как масштаб (локальные, глобальные), топология (звезда,