

*Є.Ю. ЗОРИН***АНАЛІЗ СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОДНОФАЗНИХ РЕЛЕ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ**

В статті наведені схемотехнічні рішення однофазних реле контролю напруги для захисту побутових споживачів електричної енергії від неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення на прикладі реле деяких виробників. Здійснено аналіз та опис електричних схем аналогових реле контролю напруги на основі компараторів, так і електронних – більш сучасного виконання на базі мікроконтролерів. Проведений огляд та аналіз систематизує інформацію щодо конструктивних, технічних і функціональних особливостей електричних схем та компонентів вищевказаних реле і демонструє перспективи розвитку схемотехніки реле напруги. Автором проілюстровані електричні схеми, детально описаний алгоритм їх роботи. Зроблене узагальнення та висновок про складові функціональних схем реле контролю напруги для захисту побутових споживачів.

Ключові слова: однофазне реле контролю напруги, електропобутова техніка, захист електричних мереж від відхилень напруги, перенапруга, недостатня напруга, коливання напруги в електричній мережі.

*Ye. Yu. ZORIN***AN ANALYSIS OF CIRCUIT DESIGN SOLUTIONS OF SINGLE-PHASE VOLTAGE CONTROL RELAYS FOR HOUSEHOLD CONSUMERS**

This paper pays attention to a circuit design solutions of single-phase voltage control relays for protection of household consumers of electrical energy from unacceptable voltage deviations within power supply network using the examples of some manufacturers. An overview and description of electrical drawings of analog voltage control relays, based on comparators, and digital ones, as a modern version on the basis of microcontrollers, are carried. The conducted overview and analysis systematizes information on the design, technical and functional features of the electrical circuits and components of the mentioned relays and demonstrates the prospects for development of voltage relay circuitry. The electrical drawings have been illustrated by the author, and the algorithm of their operation is described in detail. A generalization and conclusion are made concerning the components of the functional circuits in the voltage control relay for protection of household consumers.

Keywords: single phase voltage control relay, household appliances, protection of electrical networks from voltage deviations, overvoltage, undervoltage, voltage fluctuations within electrical network.

Вступ. Більшість побутової техніки є чутливою до неприпустимих відхилень напруги електричної мережі, таких як перенапруги або недостатні напруги. Що неодмінно може призвести до пошкодження компонентів електричного кола побутового приладу, особливо якщо це найбільш чутлива техніка до ненормальних режимів роботи електричної мережі.

Використання таких електричних апаратів як однофазні реле контролю напруги для захисту побутових споживачів електричної енергії може допомогти захистити обладнання від пошкоджень в результаті непередбачених коливань напруги живлення.

Існує багато різновидів реле контролю напруги, класифікація яких більш детально описана у [2, 3]. В даній статті велику увагу приділено огляду схемотехнічних рішень, що найбільш часто зустрічаються у виробників реле контролю напруги на прикладі деяких зразків для захисту побутових однофазних споживачів, особливостям тих чи інших складових загальної схеми таких реле.

Мета роботи полягає в огляді технічних особливостей електронних схем, що використовуються при виготовленні реле контролю напруги однофазних побутових споживачів, опису спільних складових електричних схем та їх відмінностей [2].

Схемотехнічні рішення реле контролю напруги. Більшість схемотехнічних рішень являють собою комбінацію двох складових – електронної, що призначена для контролю напруги й силової для швидкого роз'єднання кола [3].

За виконанням схемотехніки реле контролю напруги можна розділити на:

- аналогові реле класичного виконання, які технічно реалізовані на однопороговому (реле

максимальної напруги, реле мінімальної напруги) або двопороговому (реле мінімальної і максимальної напруги) компараторі із затримкою по включенню, яке здійснює контроль напруги мережі живлення і включає навантаження за допомогою вбудованого електромагнітного реле.

- цифрові реле напруги, які управляються мікроконтролером, що аналізує напругу в електричній мережі і здійснює аварійні відключення навантаження вбудованим електромагнітним реле. У таких реле, на відміну від аналогових, час спрацьовування залежить від рівня неприпустимого відхилення напруги. Алгоритм роботи в цифрових реле закладається виробником програмно. Мінімальний час спрацьовування в таких реле складає 0,02-0,04 с. Також перевагою застосування мікроконтролера в електричних схемах реле дозволяє розширювати їх функціонал, наприклад, контроль струму; контроль активної, реактивної і повної потужності; контроль споживання електричної енергії (лічильник електроенергії); статистика аварійних подій; віддалене керування.

У якості силового комутаційного елементу реле контролю напруги найбільш часто використовуються бістабільні електромагнітні реле, рідше моностабільні.

Струм, що протікає через керуючу котушку нагріває котушку, корпус реле і електронні компоненти, які знаходяться навколо. Висока температура навколишнього середовища скорочує термін служби моностабільного електромеханічного реле.

Перевагою бістабільних реле є імпульсний характер роботи керуючого кола: їх можна вмикати і вимикати короткочасними імпульсами керуючої напруги або струму, що подається на керуючу котушку.

У проміжку між подачею імпульсів управління

струм через котушку не тече, нагріву немає, тому бістабільне реле може надійно працювати при більш високій температурі навколишнього середовища, ніж моностабільне реле.

На рис. 1 наведено можливий варіант схеми управління поляризованими бістабільними реле з однією котушкою.

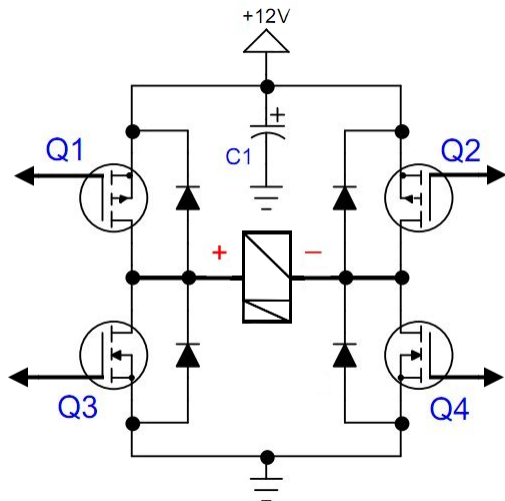


Рис. 1. Схема управління поляризованим бістабільним реле з однією котушкою

Управління бістабільними реле з двома котушками простіше, ніж управління поляризованим бістабільним реле з однією котушкою. На рис. 2 наведена можлива схема управління неполяризованим бістабільним реле із двома котушками. Слід строго дотримуватись полярності сигналів на котушках, щоб уникнути неправильного функціонування реле або його відмови.

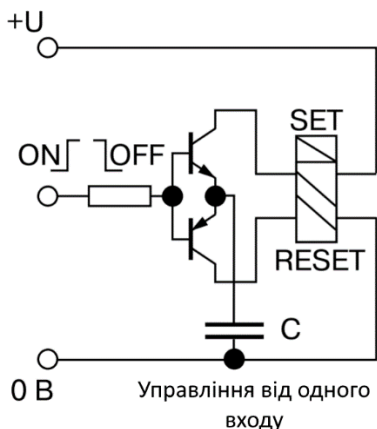


Рис. 2. Управління неполяризованим бістабільним реле з двома котушками

На рис. 3 представлена конструкція неполяризованого бістабільного реле з однією котушкою.

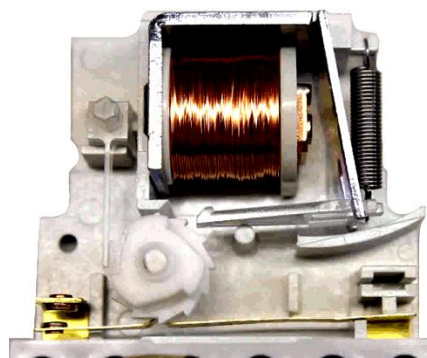


Рис. 3. Приклад конструкції неполяризованого бістабільного реле з однією котушкою

У багатьох виробників реле контролю напруги для захисту побутових споживачів функціональні схеми найбільш подібні одна до одної і тому у рамках даної статті можливо розглянути схематику реле напруги на конкретних прикладах, доступних у мережі Internet та інших відкритих джерелах.

Реле контролю напруги Аско Укрем РН-40. Згідно з паспортом реле контролю напруги РН-40, дані пристрої призначені для відстеження величини напруги і відключення навантаження при виході напруги мережі живлення або кола за встановлені межі, з подальшим підключенням з витримкою часу після досягнення допустимого діапазону напруги.

Здійснення індикації стану напруги комутованого кола забезпечується за допомогою двокольорового світлодіода.

Дане реле є аналоговим, відповідно до класифікації [2, 3] і має фіксовані пороги спрацьовування, а також фіксовану затримку автоматичного повторного включення (АПВ).

Робочий діапазон напруг, вказаний виробником у межах 180 – 255 В. Час витримки АПВ 2-3 хв. Максимально допустимий струм навантаження – 34 А.

Зовнішній вигляд, а також вигляд зсередини даного реле контролю напруги представлений на рис. 4, 5 відповідно.



Рис. 4. Зовнішній вигляд стаціонарного однофазного реле контролю напруги РН-40 (АскоУкрем, Україна)



Рис. 5. Вид зсередини стаціонарного однофазного реле контролю напруги РН-40 (АскоУкрем, Україна)

Схема електрична принципова реле Аско Укрем показана на рис. 6.

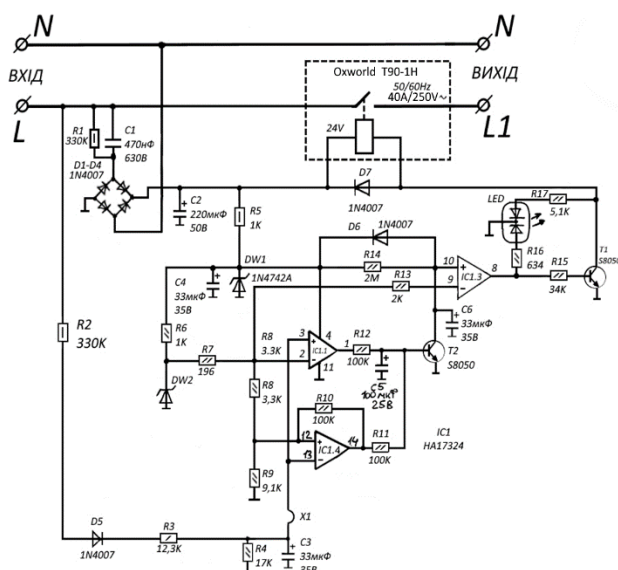


Рис. 6. Схема електрична принципова однофазного реле контролю напруги РН-40[9] (АскоУкрем, Україна)

Як видно з рис. 5, в реле контролю напруги РН-40 встановлена одна друкована плата. На платі розташовані:

- Безтрансформаторна схема живлення, організована на баластному конденсаторі С1, ємністю 470 нФ та максимальною напругою 630 В, зашунтованому резистором R1 330 кОм. Далі на платі розташована двопівперіодна мостова схема для випрямлення напруги живлення; вона складається із випрямляючих діодів D1-D4, 1N4007. Конденсатор С2 ємністю 220 мкФ, максимальною напругою 50 В, що згладжує пульсації на виході мостової схеми.

- Мікросхема HA17324 “Quad Operational Amplifier”, являє собою 4 операційних підсилювачі (ОП). В схемі реле контролю напруги використовуються тільки 3 ОП.

- Силоне моностабільне реле Oxworld T90-1H, розраховане на 40 А, 250 В АС. Катушка реле керується напругою 24 В DC.

Принцип роботи реле контролю напруги АскоУкрем РН-40 можна описати наступним чином.

На конденсаторі С1 гаситься більша частина напруги мережі. Резистор R1 розряджає конденсатор С1, коли реле контролю напруги вимкнено.

Далі напруга поступає на діодний міст, де випрямляється та згладжується конденсатором С2. На входах

операційних підсилювачів, що в даному випадку виконують роль компараторів напруга стабілізується за допомогою діодів Зенера DW1, DW2.

IC1.1 виконує роль компаратора, який спрацьовує, коли напруга мережі підвищується і виходить за рамки опорної напруги на інвертуючому вході.

IC1.4 виконує роль компаратора, який спрацьовує, коли напруга мережі знижується і виходить за рамки опорної напруги на неінвертуючому вході.

Напруга мережі випрямляється діодом D5 та подається на входи з дільника напруги R2, R3, R4.

Витримка часу запуску реле контролю напруги залежить від постійної часу τ ($\tau = R \cdot C$), яка в свою чергу залежить від опору резистора R14 і ємності конденсаторів С4, С6.

Як було відмічено вище, силоне електромагнітне реле, що використовується в конструкції для комутації кіл споживача є моностабільним. Відповідно котушка даного реле, коли контакти замкнуті, споживає енергію, відбувається нагрів котушки.

Аналогові реле контролю напруги, що подібні за конструкцією до РН-40 на сьогоднішній день застарівають і поступово витісняються з ринку цифровими.

Реле контролю напруги F&F CP-721-1. Реле контролю напруги CP-721-1 (рис. 7) згідно із класифікацією [3] є цифровим. В даному випадку в основу його конструкції входить мікроконтролер.



Рис. 7. Зовнішній вигляд стаціонарного однофазного реле контролю напруги CP-721-1 [4] (Євроавтоматика F&F, Білорусь)

Згідно із паспортом реле CP-721-1, його кліматичне виконання УХЛ4, діапазон робочих температур від -25 ... + 50 °С, відносна вологість повітря до 80% при 25 °С. Робоче положення в просторі – довільне. Висота над рівнем моря до 2000 м. Навколишнє середовище – вибухобезпечне, що не містить пилу в кількості, що порушує роботу реле, а також агресивних газів і пари в концентраціях, яка руйнує метали і ізоляцію.

За стійкістю до перенапруг і електромагнітних перешкод пристрій відповідає ГОСТ ІЕС 60730-1 [4].

Принцип роботи: контакт реле замкнутий і навантаження включене, якщо контрольована напруга знаходиться в установленому діапазоні. Діапазон (верхнє і нижнє значення) встановлюється за допомогою кнопок на лицьовій панелі. Повторне включення реле (після відключення) відбувається автоматично, через встановлений час, після відновлення напруги.

Дане реле кріпиться на DIN рейку. Гвинтові термінали реле дозволяють підключити кабелі з максимальним поперечним перетином 2,5 мм². Реле має три розрядний семисегментний індикатор для виводу значення

поточної напруги, відліку часу автоматичного повторного включення (АПВ), додаткової інформації; а також світлодіод, що вказує на поточний стан контактів і мигає із частотою 1Гц при відліку часу АПВ.

Характеристики реле F&F CP-721-1 представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики реле CP-721-1

Найменування параметрів	Значення
Напруга живлення, В	50-450
Максимальний струм, А	30, AC-1 15, AC-15
Діапазон уставок напруги, В	- нижній поріг 140 ... 210 - верхній поріг 240 ... 300
Затримка відключення, с:	- нижній поріг 0,1 ... 5 - верхній поріг 0,5 ... 25
Час повторного включення, с	2 ... 599
Комутаційна зносостійкість, циклів	100000
Споживана потужність, Вт	2,0
Ступінь захисту	IP20
Ступінь забруднення середовища	2
Категорія перенапруги	III
Діапазон робочих температур, °С	-25 ... + 50
Габарити (ШхВхГ), мм	35х90х65
Тип корпусу	2S
Маса, кг	0,1

Вигляд друкованих плат реле F&F CP-721 показаний на рис. 8.

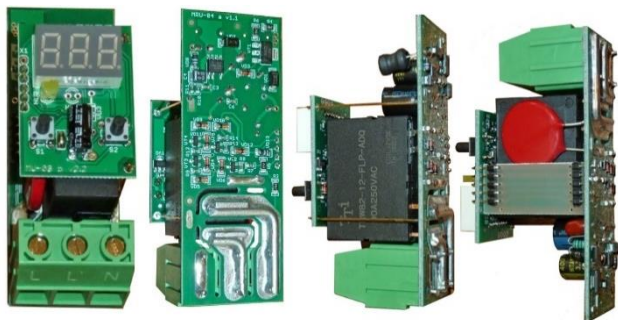


Рис. 8. Зовнішній вигляд друкованих плат стаціонарного однофазного реле контролю напруги CP-721-1 [4] (Євроавтоматика F&F, Білорусь)

Схема електрична принципова вищезазначеного реле показана на рис. 9.

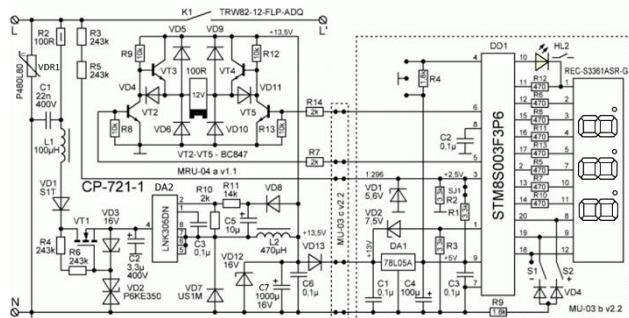


Рис. 9. Схема електрична принципова однофазного реле контролю напруги CP-721-1 [5] (Євроавтоматика F&F, Білорусь)

Як видно з рис. 8, всередині корпусу реле знаходяться 2 друковані плати: силова, та плата керування з мікроконтролером і з семисегментним індикатором [5].

На основній платі встановлені:

- Клеми підключення DEGSON DG136T-10.16-03P на 65А.

- VDR1 – захисний варистор P480L80 (20mm, 480VAC, 640VDC 180J 6,5kA);

- K1 – силове реле TRW82-12-FLP-ADQ – бістабільне з однією котушкою на 12 В, DC; контакт 90А 250 В, AC (див. рис. 3).

- VT2-VT5 – дискретна мостова ключова схема, побудована на біполярних транзисторах n-p-n типу BC847, для управління котушкою силового реле.

- лінійний стабілізатор напруги із супресором VD2 (P6KE350) 350 В;

- DA2 – імпульсний перетворювач напруги 13,5 В на базі LNK305DN.

На платі управління і індикації розташовані:

- DD1 – мікроконтролер STM8S003F3P6;

- DA2 – інтегральний стабілізатор напруги + 5 В;

- Трирозрядний семисегментний червоний індикатор;

- HL2 – жовтий індикаторний світлодіод;

- S1 (-), S2 (+) – кнопки управління.

Схема реле контролю напруги заживлюється від безтрансформаторного блока живлення. Блок живлення виконаний на базі наступних компонентів (див. схему рис. 9): обмежуючий резистор R2; LC-фільтр (L1, C1); N-канальний польовий транзистор VT1 та резистори R4 і R6, які забезпечують відкриття транзистора.

Далі згладжена стабілізована напруга подається на імпульсний перетворювач DA2 з обов'язкою де: VD7-VD8 – шунтуючі діоди; L2 – вихідний дросель; C5 – конденсатор, що додатково згладжує пульсації на виході мікросхеми; C6 – вихідний конденсатор; R10-R11 – дільник напруги [7].

Принцип дії вказаного блока живлення наступний. Резистор R2 захищає коло живлення таким чином, що обмежує струм та стрибок напруги живлення при першому включенні пристрою CP-721-1. Діод Зенера VD3 обмежує максимальну напругу на затворі транзистора VT1, який включений по схемі із загальним стоком. При включенні VT1 можуть виникати комутаційні завади і для того, щоб їх уникнути встановлюється LC-фільтр (L1, C1). VT1 відкривається відносно низькою напругою, тому розсіювана потужність в схемі є дуже малою. Через резистори R4 та R6 йде позитивна напруга на затвор VT1. Вони підібрані таким чином, щоб струм на затворі не перевищував допустимий для цього транзистора. Через істок-сток VT1 протікає струм і конденсатор C2 заряджається до значення поточної напруги мережі. Коли значення напруги мережі падає до нуля, конденсатор C2 починає розряджатись. Для того, щоб він розряджався на навантаження, а не в зворотному напрямку в схему блока живлення, передбачений випрямляючий діод VD1.

Далі напруга йде на мікросхему DA2, яка є знижувачем напруги з універсальним входом 1.44 Вт. LNK305DN для блока живлення реле контролю

напруги була обрана таким чином, щоб джерело живлення працювало в основному в переривчастому режимі (MDCM). Діод VD7 – це надшвидкий діод з часом зворотного відновлення (tRR) приблизно 75 нс, прийнятним для роботи в MDCM. Індуктор L2 – стандартний серійний індуктор з відповідним номінальним середньоквадратичним струмом (і допустимим підвищенням температури). Конденсатор C6 – конденсатор вихідного фільтра; його основна функція – обмежувати пульсації вихідної напруги. Пульсації вихідної напруги сильніше залежать від еквівалентного послідовного опору (ESR) вихідного конденсатора, ніж від номіналу самого конденсатора. У даному випадку прямі падіння напруги VD7 і VD8 ідентичні. Напруга, що виникає на C5, вимірюється і регулюється резисторним дільником R1 і R3, підключеним до контакту FEEDBACK U1 мікросхеми DA2. Значення R1 і R3 обрані таким чином, щоб при бажаній вихідній напрузі на виводі FEEDBACK становила 1,65 В. Регулювання підтримується шляхом пропуску циклів перемикачів. У міру збільшення вихідної напруги струм на виведення FEEDBACK (I_{FB}) буде рости. Якщо поточне значення струму перевищує I_{FB} , то наступні цикли будуть пропущені до тих пір, поки струм не впаде нижче I_{FB} .

На виході каскаду напруга складає 13.5 В і далі поступає на Н-подібну мостову схему керування котушкою реле (див. рис. 1, 9), а також на мікросхему стабілізатора напруги DA1 (78L05A) від якої живиться мікроконтролер.

Мостова схема працює за наступним принципом:

Транзистори VT2 та VT5 з'єднані за схемою із загальним емітером. Транзистори VT3 та VT4 з'єднані за схемою із загальним колектором. Всі ці електронні ключі мають структуру n-p-n. Резистори R7, R9, R12, R14 задають струм бази, необхідний для відкриття транзисторів. Резистори R8, R13 в схемі необхідні для запобігання помилкового відкриття VT2 та VT5. Діоди VD4, VD11 використані для завдання потрібного напрямку струму через котушку реле K1. Діоди VD5, VD6, VD9, VD10 захищають транзисторні ключі від комутаційних перенапруг так як котушка K1 має певну індуктивність.

У перший момент часу, коли на схему подано напругу +13.5 В усі транзистори знаходяться у несправному стані. При подачі керуючого сигналу +5 В деякою тривалістю (100 мс [5]) від мікроконтролера на базу VT2 через резистор R7, VT2 відкривається. Разом із VT2 відкривається також VT4, оскільки на його базу через резистор R12 починає текти струм. Далі струм тече через VT4, K1, VD4, VT2 тим самим активуючи котушку K1 і таким чином перемикаються контакти реле K1. Для того, щоб повернути контакти у попереднє положення, потрібно пропустити через котушку струм у зворотньому напрямку. Для виконання цієї операції перемикач з мікроконтролера подається сигнал +5 В вже на базу транзистора VT5 через резистор R14. За аналогією відкривається транзистор VT3. Струм тече через котушку K1 (VT3, K1, VD11, VT5) тим самим викликаючи спрацювання і перемикачів контакту реле K1 (рис. 10).



Рис. 10. Вигляд силового реле TRW82-12-FLP-ADQ зсередини

Потрібно зазначити, що коли Н-мостова схема драйвер реле K1 активована тим чи іншим сигналом з мікроконтролера, через резистори R9, R12 також тече струм. У випадку відкриття VT2 струм тече через R9, у випадку відкриття VT5 – через R12, але він незначний порівняно зі струмом через котушку K1.

Живлення на плату мікроконтролера поступає з DA2 на вхід DA1, яка знижує і стабілізує напругу з 13.5 В до 5 В.

Згідно паспорту мікроконтролера STM8S003F3P6 [6] входи 7 та 9 використовуються для живлення.

Конденсатор C1 плати мікроконтролера використовується як bypass для DA1, C4 – використовуються для фільтрації напруги. C2 та C3 використовуються як навантажувальні конденсатори у колі внутрішнього тактового генератора мікроконтролера. Діоди Зенера VD1, VD2 обмежують напругу на відповідних входах мікроконтролера.

У якості вимірювального входу використовується пін 3. У даному випадку сигнал поступає на канал аналого-цифрового перетворювача AIN6 [6] із дільника напруги утвореного резисторами R3, R5, R2.

До портів під номерами 2, 11-17 підключений через резистори R5-R8, R10-R13 трирозрядний семисегментний індикатор для виводу поточної напруги та часу автоматичного повторного включення.

До портів 19, 20 підключені кнопки S1, S2, які використовуються для налаштування параметрів реле напруги користувачем; до порту 10 – індикаторний світлодіод HL2.

Слід зазначити, що при зникненні напруги на клеммах реле напруги, мікроконтролер встигне опрацювати аварійну подію і подати сигнал на розмикання контактів K1 за рахунок заряду конденсаторів C5, C7 на виході DA2.

Реле контролю напруги Tomzn TOVPD1-63.

Реле контролю напруги Tomzn TOVPD1-63 (рис. 11) має подібну електричну схему, як і вищеописане реле контролю напруги F&F CP-721-1. Відмінність полягає у тому, що у Tomzn є також функція контролю струму.

Згідно з описом від виробника дане реле має такі функції і характеристики:

- 1) Захист від недостатньої напруги з можливістю регулювання 145-210 В (за замовчуванням 170 В);
- 2) Захист від перенапруги з можливістю регулювання 230-300 В (за замовчуванням 270 В);
- 3) Захист від перевантаження за струмом з

можливістю регулювання 1-63 А (за замовчуванням 40 А);

4) Час автоматичного повторного включення 3-300 с (за замовчуванням 30 с);

5) Вольтметр;

6) Амперметр;

7) Похибка вимірювання струму та напруги у реальному часі $\leq 5\%$.

8) Номінальна напруга 220 В;

9) Частота 50/60 Гц.



Рис. 11. Зовнішній вигляд стаціонарного однофазного реле контролю напруги TOVPD1-63 [8] (Tomzn, Китай)

Як видно з рис. 11 лицьова панель з прозорою захисною плівкою без тонування.

Верхній індикатор відображає поточну вхідну напругу, нижній – поточний струм навантаження.

Кнопки призначені для зміни налаштувань реле.

Зелений індикатор показує наявність вхідної напруги, він світиться постійно поки живлення подано.

Червоні індикатори відображають причину відключення реле.

Ніякої індикації наявності вихідної напруги не передбачено.

Вид друкованих плат реле контролю напруги TOVPD1-63 із середини показаний на рис. 12. Мінусом даних плат є те, що елементи на платі не позначені. Відповідно на електричній принциповій схемі компоненти не пронумеровані.

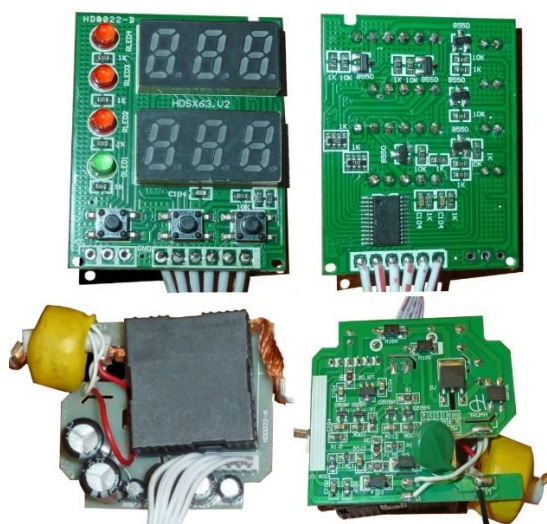


Рис. 12. Зовнішній вигляд друкованих плат стаціонарного однофазного реле контролю напруги TOVPD1-63 [8] (Tomzn, Китай)

Схема електрична принципова вищезазначеного реле показана на рис. 13.

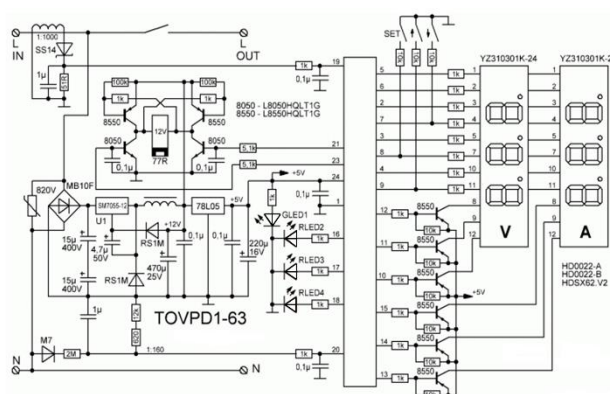


Рис. 13. Схема електрична принципова однофазного реле контролю напруги TOVPD1-63 [8] (Tomzn, Китай)

По аналогії із CP-721-1 всередині реле TOVPD1-63 міститься 2 плати.

На основній платі встановлені:

- захисний варистор, розрахований на напругу 820 В;

- силове реле (бістабільне поляризоване реле з однією котушкою на 12 В) Воно керується зміною напрямку струму в котушці. Реле не має маркування, але за конструкцією більш подібне до JS201H [8].

- дискретна мостова ключова схема, побудована з компліментарних пар біполярних транзисторів типу S8550, для управління котушкою силового реле.

- Понижуючий імпульсний перетворювач напруги 12 В на базі мікросхеми SM7055-12 для живлення усього пристрою.

- Лінійний стабілізатор напруги, виконаний на базі мікросхеми 78L05 для живлення мікроконтролера.

- Трансформатор струму, для вимірювання величини струму у мережі споживача.

На платі управління і індикації розташовані:

- мікроконтролер, на якому відсутнє маркування;
- 2 тририрядних семисегментних червоних індикатори, верхній показує величину напруги мережі, нижній – струм, що протікає в мережі;

- зелений індикаторний світлодіод, який показує що реле ввімкнене; три червоних індикаторних світлодіоди, що вказують на причину спрацьовування реле (недостатня напруга, перенапруга, перевантаження за струмом);

- три кнопки управління.

Напруга із мережі живлення випрямляється за допомогою діодного мосту MB10F. Далі по схемі напруга згладжується за допомогою двох ємностей по 15 мкФ і розрахованих на напругу 400 В, що з'єднані між собою послідовно.

Опис призначення елементів під'єднаних на виході стабілізатора подібний до опису LNK305DN реле CP-721-1 (див. вище).

На виході каскаду напруга складає 12 В і далі поступає на Н-подібну мостову схему керування котушкою реле (див. рис. 14), а також на мікросхему стабілізатора напруги 78L05A від якого живиться мікроконтролер (опис елементів подібний до опису в схемі реле CP-721-1).

Фрагмент Н-подібної мостової схеми представлений на рис. 14. Так як на реальній платі транзистори ніяк не позначені, то для полегшення опису роботи вони будуть позначені на фрагменті схеми.

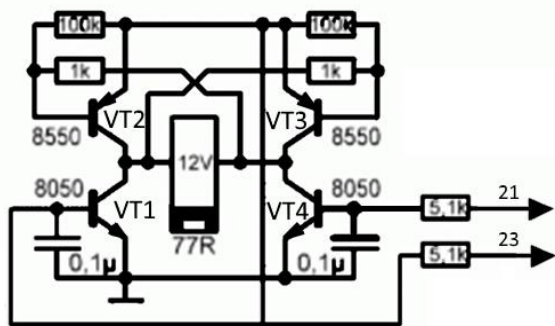


Рис. 14. Схема електрична принципова драйвера котушки силового реле

Мостова схема працює за наступним принципом.

Транзистори з'єднані за схемою із загальним емітером. Транзистори VT1 та VT4 мають n-p-n структуру. Транзистори VT2 та VT3 мають p-n-p структуру. Резистори задають струм бази, необхідний для відкриття транзисторів. Конденсатори в схемі необхідні для запобігання помилкового відкриття VT1 та VT4 від завад та наводок. Коли на VT1 з порта 23 мікроконтролера подається імпульс, цей транзистор відкривається. Разом з ним відкриваються і VT2, VT3, так як на їх базах утворюється негативний потенціал відносно емітера. Струм починає протікати через VT3, котушку силового реле, VT1. Через VT2 струм також протікає, але він оминає корисне навантаження у вигляді котушки силового реле. Таким чином силовий контакт перемикається. Якщо є необхідність змінити стан контактів на протилежний, через котушку потрібно пропустити струм у зворотному напрямку. Для цього імпульс подається на базу транзистора VT4 і весь процес проходить у дзеркальній послідовності.

Як вже зазначалося, живлення на мікроконтролер поступає через мікросхему 78L05, яка знижує напругу з 12 В до 5 В.

Як видно зі схеми виводи 3-15 відповідають за вивід поточних значень напруги та струму на індикатори. Виводи 16-18, 24 відповідають за індикацію стану реле контролю напруги. До виводів 7-9 підключені кнопки управління. Вивод 19 мікроконтролера використовується як аналоговий для зчитування величини струму із трансформатора струму. Вивод 20 теж використовується як аналоговий для отримання величини поточної напруги мережі.

Особливістю вимірювання величини напруги мережі за допомогою реле контролю напруги є те, що на вивід компаратора чи аналоговий вхід мікроконтролера потрапляють тільки позитивні напівхвилі. Як правило напруга мережі живлення знімається з резистивного дільника.

Особливостями вимірювання величини струму (у реле напруги із функцією контролю струму) є те, що струм потрапляє на аналоговий вивід мікроконтролера з трансформатора або низькоомного шунта.

Висновки:

1. Проведений огляд та аналіз схемотехнічних

рішень та описаний принцип роботи електричних схем реле напруги для захисту побутових однофазних споживачів електричної енергії від неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення на прикладі деяких зразків. В широкому загальному електричні схеми реле контролю напруги у різних виробників подібні між собою, як за елементним складом, так і за функціональними схемами. Відмінність може полягати у застосуванні різних серій мікроконтролерів і відповідної обв'язки до них.

2. На основі продемонстрованих електричних схем наведених зразків реле напруги можна побачити спільні риси, а також виділити функціональні складові схемних рішень реле контролю напруги, таких як:

- безтрансформаторний блок живлення;
- драйвер для управління вмиканням/вимиканням котушки силового реле;
- силове електромагнітне (рідше твердотільне) реле, для комутації кола споживача;
- вимірювальна ланка в основі якої датчик (частіше за все резистивний дільник напруги), а також порівнюючий пристрій (компаратор чи мікроконтролер);
- індикатори стану реле напруги.

3. На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що реле контролю напруги за реалізацією схемотехніки поділяються на аналогові та цифрові. На сьогоднішній день цифрові реле витісняють на електротехнічному ринку аналогові.

Так як функціонал цифрового реле залежить ще і від зашити у мікроконтролер програми, то на сьогодні можна бачити тенденцію розвитку схемотехніки цифрових реле контролю напруги у бік додавання функцій (окрім основної – захисту споживача від неприпустимої напруги мережі живлення) не тільки за рахунок додавання електронних компонентів у схему, а й за рахунок модифікації робочої програми мікроконтролера таких реле.

Список літератури:

1. Чепелюк А.А., Хлобыстин А.Л. О влиянии технического состояния внутридомовых распределительных сетей на электробезопасность бытовых однофазных потребителей электрической энергии. *Вестник Нац. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика.* Харьков : НТУ "ХПИ". 2011. № 60. С. 46-53.
2. Чепелюк А.А. К вопросу классификации реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Серія : Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика.* Харьков : НТУ "ХПИ". 2014. № 41. С. 25-36.
3. Зорін Є.Ю., Чепелюк О.О., Гришук Ю.С. Классификация однофазных реле контроля напряжения бытовых споживачів з огляду на тенденції їх розвитку. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика.* Харьков : НТУ "ХПИ". 2020. №1. С.15-21.
4. Реле контроля напряжения F&F CP-721-1. Руководство по эксплуатации – https://fif.by/data/files/item_1212.by.pdf
5. Однофазные реле контроля напряжения CP-721-1 от F&F Евроавтоматика – <https://mysku.ru/blog/russia-stores/76882.html>
6. Datasheet - STM8S003F3 STM8S003K3 - Value line – <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm8s003f3.pdf>
7. LNK302/304-306 LinkSwitch-TN Family – https://www.mouser.ee/datasheet/2/328/lnk302_304-306-1512550.pdf
8. Однофазные реле контроля напряжения TOMZN TOVPD1-63 – <https://mysku.ru/blog/aliexpress/76141.html>

9. Реле контроля напряжений TDM Electric AZM 40A-220B – <https://mysku.me/blog/russia-stores/82683.html>.

References (transliterated):

1. Chepelyuk A.A., Khloby'stin A.L. O vliyaniy tekhnicheskogo sostoyaniya vnutridomovy'kh raspredelitel'ny'kh setej na e'lektrobezopasnost' by'tovy'kh odnofazny'kh potrebitelej e'lektricheskoy e'nergii. *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn y aparativ* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice]. Kharkiv, NTU "KHPI" Publ., 2011. no 60. Pp. 46-53.
2. Chepelyuk A.A. K voprosu klassifikacii rele napryazhe-niya dlya zashhity' by'tovy'kh odnofazny'kh potrebitelej ot nedopustimy'kh otklonenij napryazheniya v pitayushhej seti. *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn y aparativ* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice]. Kharkiv, NTU "KHPI" Publ., 2014. no 41. Pp. 25-36.
3. Zorin Ye.Yu., Chepelyuk O.O., Grishhuk Yu.S. Klasifi'kaczi'ya odnofaznykh rele kontrolyu naprugi pobutovykh spozhivachi'v z oglyadu na tendenci'yi yikh rozvitku. *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn y aparativ* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice]. Kharkiv, NTU "KHPI" Publ., 2020. no 1. Pp.15-21.
4. Rele kontrolya napryazheniya F&F CP-721-1. Rukovodstvo po ekspluatatsii – https://fif.by/data/files/item_1212.by.pdf
5. Odnofaznye rele kontrolya napryazheniya CP-721-1 ot F&F Evroavtomatika – <https://mysku.ru/blog/russia-stores/76882.html>
6. Datasheet - STM8S003F3 STM8S003K3 - Value line – <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm8s003f3.pdf>
7. LNK302/304-306 LinkSwitch-TN Family – https://www.mouser.ee/datasheet/2/328/lnk302_304-306-1512550.pdf
8. Osoblivosti` rele Tomzn TOVPD1-63 – <https://mysku.ru/blog/aliexpress/76141.html>
9. Rele kontrolya napryazhenij TDM Electric AZM 40A-220V – <https://mysku.me/blog/russia-stores/82683.html>

Надійшла (received) 06.03.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Зорін Євгеній Юрійович (Zorin Yevhenii Yur'yevich) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра електричних апаратів; тел.: (057) 707 68 64; e-mail: yevgeny.zorin@gmail.com