

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ КРИТЕРІЮ ПАРАМЕТРИЧНОЇ
НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
МЕТАЛОРІЗАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ**

В.А. Толбатов, канд. техн. наук, доцент;
А.В. Толбатов, асистент,
Сумський державний університет, м. Суми

Розглянуто та обґрунтовано обрання критерію параметричної надійності електричних систем управління, який дозволяє уніфікувати схемні рішення, підвищити їх безвідмовність та ремонтпридатність.

Ключові слова: критерій, параметрична надійність, схемні рішення, безвідмовність, ремонтпридатність.

Рассматривается и обосновывается выбор критерия параметрической надежности электрических систем управления, который позволяет унифицировать схемные решения, повысить их безотказность и ремонтпригодность.

Ключевые слова: критерий, параметрическая надежность, схемные решения, безотказность, ремонтпригодность.

ПОСТАНОВА ПРОБЛЕМИ

Підвищення рівня автоматизації і ефективності використання металорізального обладнання зумовлює розширення функціональних можливостей і підвищення вимог до надійності електричних систем управління, забезпечуючу послідовність і координацію роботи механічного, гідравлічного, пневматичного і змащувального обладнання, транспортних механізмів і контрольно-вимірювальних пристроїв (реалізацію підготовчих, дозволяючи, блокувально-забороняючих команд, захист обладнання і обслуговуючого персоналу та сигналізацію нормальних і аварійних положень).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ускладнення взаємодії численних формуютьвачів з допоміжними функціональними вузлами металорізального обладнання характеризується тенденцією переходу від диференціальних до інтегральних зв'язків в електричних системах управління і необхідністю підвищення їх надійності.

Для вироблення керуючої дії виконавчого пристрою необхідно виконати безліч послідовних або паралельних умов, що реалізуються різними логічними апаратними операціями в елементарних ланцюгах електричної системи (завдання режиму і циклу, основного контролю початкового і робочого положень, різних блокувальних і захисних команд і т. п.).

На рис. 1 наведений типовий однофункціональний ланцюг схеми керування. У загальному випадку елементарний ланцюг може складатися з таких зв'язків:

контактів перемикача *SA1* (завдання режиму роботи) і кнопок *SB1*, *SB2* і тому подібне (включення і відключення циклу);

контактів апаратів основного контролю *SQ1* (початкового і робочого положень);

контактів проміжних реле *KV1*, *KV2* та реле часу *KT1* – логічних зв'язків (підготовчо-забороняючих і дозволяючих команд);

контактів захисної апаратури - теплових реле і автоматичних вимикачів *FP*, *QF*;

котушки виконавчого пристрою *KM*.

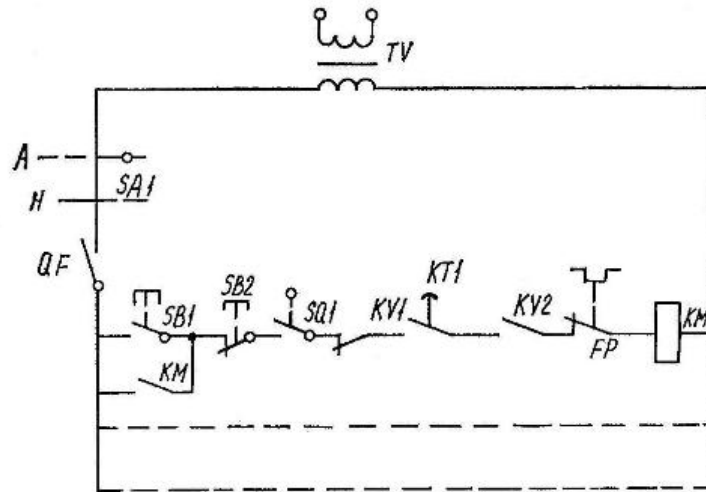


Рисунок 1 - Типовий однофункціональний ланцюг схеми керування

В окремих випадках елементарні ланцюги можуть складатися з одного, двох або трьох поєднань вищезгаданих компонент.

Тенденція інтеграції зв'язків між командними і виконавчими елементами, збільшення протяжності електричних комунікацій зумовлюють необхідність переходу від інтуїтивної побудови систем керування до інженерних побудов, що ґрунтуються на урахуванні конструктивних і експлуатаційних чинників, які впливають на забезпечення їх параметричної надійності [1].

При проектуванні електрообладнання складних верстатів і автоматичних ліній завдання оптимізації (мінімізації) застосовуваної апаратури вирішується ускладненням зв'язків між командними і виконавчими елементами. Практично це часто призводить до недостатньо надійного функціонування в умовах експлуатації окремих ланцюгів, побудованих без належної перевірки параметричної надійності на стадії проектування.

У ряді випадків можливий перехід до менш інтегрованих зв'язків між командними і виконавчими елементами шляхом уведення додаткового проміжного елемента або дублювання.

Зв'язок між командними і виконавчими елементами однофункціонального ланцюга і розрахункова схема наведені на рис. 2.

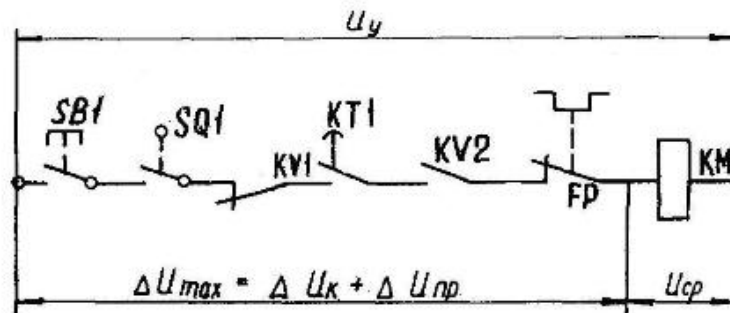


Рисунок 2 - Розрахункова схема однофункціонального ланцюга

Аналіз електрообладнання вітчизняних і зарубіжних верстатів та автоматичних ліній показує, що для живлення ланцюгів управління з достатнім технічним обґрунтуванням у даний час прийнята напруга 110 В змінного і 24 В постійного струму [2]. Для забезпечення номінальної напруги 110 В змінного струму застосовуються трансформатори керування.

Вибір допустимого комбінаційного поєднання послідовно сполучених контактів командних, логічних і захисних елементів та протяжності комунікацій однофункціонального ланцюга змінного і постійного струму проводиться виходячи з умови забезпечення надійної роботи виконавчого пристрою. Це досягається технічно обґрунтованим обліком характеристик різних за конструкцією і призначенням зв'язків, варіацій напруги управління і спрацьовування, споживаної потужності виконавчого пристрою, перетину і протяжності комунікацій.

При найгірших конструктивних і експлуатаційних поєднаннях напруга на затисках виконавчого пристрою повинна забезпечувати його спрацьовування і нормальну працездатність протягом нормованого періоду комутаційної зносостійкості. При цьому вибраний запас щодо напруги спрацьовування виконавчих пристроїв змінного струму повинен бути достатнім, щоб шум у процесі експлуатації не перевищував рівня, характерного для їх електромагнітних систем. Це додаткова умова забезпечення нормальної працездатності виконавчих пристроїв змінного струму в експлуатації. Варіація напруги спрацьовування виконавчих пристроїв повинна розглядатися залежно від їх точнісних характеристик.

Для вирішення вказаного ймовірно-статистичного завдання стосовно ланцюгів управління змінного струму розглянемо векторну діаграму напруги однофункціонального ланцюга (рис.3).

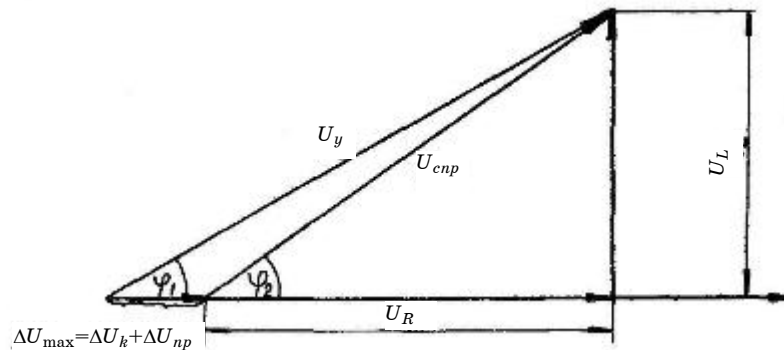


Рисунок 3 - Векторна діаграма напруги

Можливі два варіанти рішення задачі виходячи із даних коефіцієнта потужності $\cos \varphi_1$ (при розгляді схеми управління як сукупності паралельно включених однофункціональних ланцюгів) і $\cos \varphi_2$ (при розгляді незалежного однофункціонального ланцюга).

На рис. 3 прийняті такі позначення:

U_y - мінімальне допустиме значення напруги управління;

$U_{спр}$ - максимальне значення напруги спрацьовування електромагнітного виконавчого пристрою;

U_R - активна складова напруги спрацьовування;

U_L - індуктивна складова напруги спрацьовування;

φ_1 і φ_2 - кути зсуву фаз між напругою управління і спрацьовування та струмом ланцюга;

ΔU_{np} - падіння напруги в електричних комунікаціях;

ΔU_k - падіння напруги в послідовно з'єднаних контактах.

Виходячи з векторної діаграми для першого варіанта

$$I_{cep} (R_k + R_{np}) = U_y \cos \varphi_1 - \sqrt{1 - U_{cp}^2 - U_y^2 \sin^2 \varphi_1},$$

звідки

$$R_k = \frac{U_n^2}{S_n} \left[\frac{U_y}{U_{cep}} \cos \varphi_1 - \sqrt{1 - \left(\frac{U_y}{U_{cep}} \sin \varphi_1 \right)^2} \right] - \rho \frac{l}{q}, \quad (1)$$

де I_{cep} - струм спрацьовування виконавчого пристрою;

R_k і R_{np} - опори послідовно сполучених контактів і електричних комунікацій;

S_n - пускова потужність виконавчого пристрою;

U_n - номінальна напруга;

l і q - довжина і перетин електричних комунікацій.

Для другого варіанта

$$R_k \leq \frac{U_n^2}{S_n} \left[\sqrt{\left(\frac{U_y}{U_{cp}} \right)^2 - \sin^2 \varphi_2 - \cos \varphi_2} \right] - \rho \frac{l}{q}. \quad (2)$$

З урахуванням знання споживаної активної потужності виконавчого пристрою P при включенні маємо

$$R_k \leq \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \left(\sqrt{S_n^2 \left[\left(\frac{U_y}{U_{cep}} \right)^2 - 1 \right] + P^2 - P} \right) - \rho \frac{l}{q}. \quad (3)$$

При підвищенні пускової потужності виконавчих пристроїв виявляється тенденція зниження $\cos \varphi$. Для загальнопромислових виконавчих пристроїв із пусковою потужністю в межах від 100 до 2000 ВА середні значення $\cos \varphi$ можуть бути описані співвідношенням [3]:

$$\cos \varphi_{II} \approx 2 / \sqrt[4]{S_n}.$$

Тоді згідно з (2)

$$R_k \leq \frac{U_n^2}{S_n^{5/4}} \left(\sqrt{\sqrt{S_n} \left[\left(\frac{U_y}{U_{cep}} \right)^2 - 1 \right] + 4 - 2} \right) - \rho \frac{l}{q}. \quad (4)$$

Для виконання вищезгаданих розрахунків необхідно знати варіації значень напруги управління і спрацьовування виконавчих елементів, що визначають їх найгірші поєднання у процесі експлуатації.

Оцінка нижнього рівня напруги управління в ланцюгах змінного струму може бути проведена виходячи з норм якості електричної енергії у приймачів, що приєднуються до електричних мереж загального застосування, та гранично допустимого відхилення номінальної вторинної напруги у трансформаторах управління.

Згідно з ГОСТ 13109-97 мінімальне значення напруги мережі живлення повинна становити $0,95 U_n$. Відповідно до ГОСТ 19294-97 гранично допустиме відхилення вторинної напруги у трансформаторах управління нормується $\pm 10\%$ від номінального значення. Таким чином, нижній розрахунковий рівень напруги ланцюга управління необхідно брати таким, що дорівнює $0,85 U_n$.

Рівень надійності виконавчих елементів визначається ступенем узгодження їх тягових і протидіючих характеристик при спрацьовуванні і відпуску (поверненні).

При раціональному конструюванні виконавчих елементів забезпечуються підвищення надійності і зниження габаритів завдяки оптимальному узгодженню їх тягових і протидіючих характеристик. Це досягається технічно обґрунтованим вибором оптимальної напруги спрацьовування і відпуску елементів з урахуванням варіацій значень параметрів, що характеризують якість застосовуваних матеріалів, точність виготовлення і режим експлуатації [4].

Вибір оптимальних значень названих параметрів проводиться виходячи з умови забезпечення практично необхідної надійності спрацьовування і відпуску.

У загальному вигляді імовірність надійного спрацьовування елемента може бути наведена виразом

$$P_{cep}(Z) = 1 - \int_0^{\infty} f(U_{cep}) \left[\int_0^{U_{cep}} f(U_{II}) dU_{II} \right] dU_{cep}, \quad (5)$$

де $f(U_{II})$ і $f(U_{cep})$ - щільності розподілу напруги живлення і спрацьовування елемента.

Межі інтегрування 0 і ∞ характеризують граничні стани протидіючого пристрою при його поломці і заклинюванні.

У процесі роботи внаслідок зносу і деформації окремих деталей і вузлів змінюється значення напруги спрацьовування. На основі експериментальних досліджень встановлено, що зміну напруги спрацьовування електромагнітних виконавчих пристроїв можна апроксимувати в першому наближенні лінійними залежностями, і диференціальний закон їх розподілу є нормальним:

$$U_{cep}(Z) = \bar{U}_{0cep} \pm v_{U_{cep}} Z, \quad (6)$$

де \bar{U}_{0cep} - середнє початкове значення напруги спрацьовування;

$v_{U_{cep}}$ - швидкість зміни напруги спрацьовування.

З урахуванням розглянутих залежностей вираз для оцінки імовірності надійного спрацьовування електромагнітних виконавчих елементів має вигляд

$$P_{cep}(Z) = 0,5 + \Phi \left\{ \frac{(U_{II} \pm 3\sigma_{U_{II}}) - (\bar{U}_{0cep} \pm v_{U_{cep}} Z)}{\sqrt{\sigma_{U_{0cep}}^2 + \sigma_{v_{U_{cep}}}^2 Z^2}} \right\}. \quad (7)$$

Для практичних розрахунків співвідношення (7) спрощується, оскільки згідно з дослідженнями параметричної надійності електромагнітних виконавчих пристроїв загальнопромислового застосування зміна їх середніх значень напруги спрацьовування за період нормованої механічної зносостійкості Z_M можна подати залежністю

$$\bar{U}_{cep} \approx K_{U_{ZM}} \bar{U}_{0cep},$$

де $K_{U_{ZM}}$ - коефіцієнт (для інженерних розрахунків $K_{U_{ZM}} = 1,05$).

Імовірність надійного спрацьовування виконавчого пристрою визначається за формулою

$$P_{cp}(Z) = 0,5 + \Phi \left\{ \frac{(U_{IImin} / K_{U_{ZM}} \bar{U}_{0cep}) - 1}{S_{U_{0cep}}} \right\}, \quad (8)$$

де U_{IImin} - мінімальна напруга живлення виконавчого елемента (відповідна до максимальної напруги спрацьовування);

$S_{\bar{U}_{0cep}} = \frac{\sigma_{U_{0cep}}}{\bar{U}_{0cep}}$ - коефіцієнт варіації напруги спрацьовування.

Згідно з (8), імовірність надійного спрацьовування електромагнітних виконавчих пристроїв не менше 0,999 забезпечується при виконанні рівності

$$\frac{(U_{IImin} / K_{U_{ZM}} \bar{U}_{0cep}) - 1}{S_{U_{0cep}}} = \pi,$$

звідки

$$U_{IImin} = K_{U_{ZM}} \bar{U}_{0cep} (1 + \pi S_{U_{0cep}}). \quad (9)$$

З урахуванням забезпечення гарантованого надійного спрацьовування електромагнітних виконавчих пристроїв і рівності (9) вираз для оцінки сумарного і контактних опорів командних і логічних елементів однофункціонального ланцюга управління змінного струму набирає вигляду

$$R_k + R_{np} \leq \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \left(\sqrt{S_n^2 \left\{ \left[\frac{U_y}{K_{U_{ZM}} \bar{U}_{0cep} (1 + \pi S_{U_{0cep}})} \right]^2 - 1 \right\} + P^2 - P} \right), \quad (10)$$

$$R_{\kappa} \leq \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \left(\sqrt{S_n^2 \left\{ \left[\frac{U_y}{K_{UZ_M} \bar{U}_{ocerp} (1 + \pi S_{Uocerp})} \right]^2 - 1 \right\} + P^2 - P} \right). \quad (11)$$

Співвідношення (2) дозволяє оцінити граничні значення пускової потужності виконавчих пристроїв. При цьому як початкове положення приймаються наявність одного комутаційного зв'язку і мала протяжність комунікацій

$$S_n \leq U_n^2 \left\{ \sqrt{\left[\frac{U_y}{K_{UZ_M} \bar{U}_{ocerp} (1 + \pi S_{Uocerp})} \right]^2 - \sin^2 \varphi - \cos \varphi} \right\}. \quad (12)$$

Аналіз розподілів напруги спрацьовування електромагнітних виконавчих елементів змінного струму загальнопромислового застосування доводить, що $\bar{U}_{ocerp} = (0,65 - 0,7)U_n$ і $S_{Uocerp} \approx 0,04$.

При цьому згідно з (9) максимальні значення напруги спрацьовування виконавчих елементів можуть становити $(0,77-0,82) U_n$.

Виходячи із співвідношення (10), на рис. 4 побудовані залежності $R_{\kappa} + R_{np} = f(S_n)$ при номінальній напрузі 110 В змінного струму і значеннях напруги спрацьовування виконавчих елементів у діапазоні $(0,75-0,82) U_n$. Область пускових потужностей охоплює широку номенклатуру застосовуваних у верстатобудуванні виконавчих елементів (електромагнітів, гідро і пневмозолотників, магнітних пускачів, контакторів і т. п.). Залежності побудовані з урахуванням зменшення коефіцієнта потужності виконавчих елементів від 0,8 до 0,4 при збільшенні їх пускової потужності в діапазоні 70-2000 ВА.

Необхідно знати область граничних значень пускових потужностей виконавчих елементів, при підключенні яких до трансформатора управління не гарантується їх надійне функціонування. Для практичних розрахунків за граничними рівнями доцільна напруга спрацьовування виконавчих елементів взята такою, що дорівнює $0,8 U_n$.

Згідно із статистичними даними середнє значення опору срібного контакту, покритого сульфідною плівкою, може становити 1-1,5 Ом.

Оцінка граничних потужностей виконавчих пристроїв, при яких не забезпечується їх надійна робота, проводиться виходячи з умови наявності одного комутаційного зв'язку, протяжності комунікацій $l \approx 0$ і $U_{ocerp} = 0,8 U_n$.

Перетин залежності $R_{\Sigma} = f(S_n)$ при $U_{ocerp} = 0,8 U_n$ із прямими $R_{\Sigma} = 1$ Ом і $R_{\Sigma} = 1,5$ Ом визначає область граничних потужностей виконавчих пристроїв. Для даного випадку при $U_{ocerp} = 0,8 U_n$ $S_{np} \approx 900 - 1500$ ВА.

На рис. 4 наведені також залежності $R_{np} = f(l)$ опору комунікацій при різних їх протяжності і перетинах 0,75; 1; 1,5 і 2,5 мм². Початкове значення опору відповідає наявності одного комутаційного зв'язку з $R_{\kappa} = 1$ Ом.

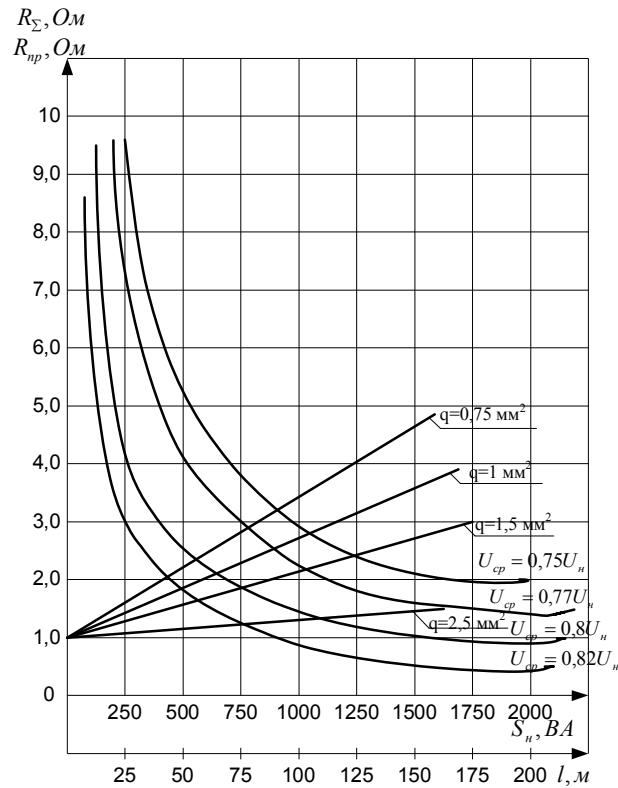


Рисунок 4 - Залежності $R_{\Sigma} = f(S_n)$ і $R_{np} = f(l)$ при номінальній напрузі 110 В змінного струму

Знання залежностей $R_{\Sigma} = f(S_n)$ і $R_{np} = f(l)$ дозволяє визначити обмеження за протяжністю комунікацій при вибраних перетинах і пусковою потужністю виконавчих пристроїв, а також обмеження за пусковою потужністю виконавчих пристроїв при вибраних протяжності і перетинах комунікацій.

Ці завдання вирішуються з використанням залежності $R_{\Sigma} = f(S_n)$ при $U_{cp} = 0,8U_n$.

ВИСНОВКИ

На основі дослідження надійності систем управління металообробним обладнанням вітчизняного і зарубіжного виробництва проведеного на ВАТ СНВО ім. М.В. Фрунзе та їх структурно-функціонального аналізу з урахуванням застосовуваної елементної бази, режимів роботи виконавчих пристроїв, протяжності і перетину комунікацій і зміни експлуатаційних чинників розроблено метод оптимізації за критерієм надійності структур електричних систем управління металорізальним обладнанням з жорсткою логікою.

Підвищення надійності систем управління забезпечується обґрунтованим вибором кількості комутаційних зв'язків між командними і виконавчими елементами виходячи з умови досягнення заданого коефіцієнта технічного використання устаткування.

SUMMARY

METHODOLOGICAL BASES OF THE SELECTION OF THE CRITERION OF THE PARAMETRIC RELIABILITY OF THE ELECTRICAL OPERATING SYSTEMS FOR THE METAL-CUTTING EQUIPMENT

*V.A. Tolbatov , A.V. Tolbatov,
Sumy State University, Sumy*

The selection of the criterion of the parametric reliability of electrical operating systems, which allows to unify design solutions, improve their stable work and maintainability is revealed and substantiated.

The method of optimization according to the reliability criterion of the structures of the electrical operating systems for the metal-cutting equipment with rigid logic is developed based on the study of the reliability of the operating systems of the metal cutting equipment of domestic and foreign production held at JSC SSPA named after M.V. Frunze and their structural and functional analysis considering the element base used, the operating conditions of execution units, the length and the intersection of communications and the changes of operational factors.

The increase of the reliability of operating systems is provided by the reasonable choice of the number of commutation relations between the executive and command elements based on the condition of reaching a given factor of the technical usage of the equipment.

Key words: *criterion, parametric reliability, design solutions, reliability, maintainability.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вороничев Н.М., Тартаковский Ж.Э., Генин В.Б. Автоматические линии из агрегатных станков. - М.: Машиностроение, 1979.
2. Минскер З.И. Определение рационального электрического напряжения цепей управления металлорежущих станков и автоматических линий // Станки и инструменты. - 1973. - № 2.
3. Гольцман Э.Р., Пономарев Д.П. Требования к контактам цепей управления с учетом действительных параметров реальных электрических нагрузок: тез. докл. III Всесоюз. науч. техн. конф. «Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения» (г. Тбилиси, 11—13 ноября 1979 г.). - Тбилиси, 1979.
4. Тевлин З.В. Параметрический метод повышения надежности электромагнитных коммутационных аппаратов на стадии проектирования // Электротехническая промышленность. Сер. «Аппараты низкого напряжения». - 1972. - Вып. 8(16). - 9(17).

Надійшла до редакції 17 березня 2010 р.