4. **Выводы.** Учет квантового шума регистрирующей системы в виде RC-датчика ограничивает чувствительность схемы, изображенной на рис. 1, на уровне, задаваемом формулой (2) с $n=0$ при использовании той же последующей оптимальной процедуры, которая давала бесконечное разрешение в случае чистого одиночного осциллятора (см. (3)). Принимая во внимание возможность существования возбужденных состояний осциллятора с $n \neq 0$ (1), можно сформулировать следующее утверждение: чувствительность к обнаружению внешнего воздействия схемы рис. 1 лежит в интервале

$$\frac{1}{\hat{\tau}}\left(\left\langle n+\frac{1}{2}\right\rangle m\hbar\omega_0\right)^{1/2} \geqslant F_{\min} \geqslant \frac{1}{\hat{\tau}}\left(\frac{1}{2}m\hbar\omega_0\right)^{1/2}.$$

На практике операция отбрасывания узкой части спектра $(\omega_0 \pm \delta_{\text{эфф}})$ могла бы быть с требуемой точностью выполнена апостериорно при спектральном анализе приближенной записи функции $\hat{\vartheta}(t)$ на интервале наблюдения $T \geqslant \delta_{\text{эфф}}^{-1}$. Интересно, что для получения квантового предела (13) не потребовалось вводить дополнительные шумы усилителя, на вход которого подается $\hat{\vartheta}(t)$, так называемые шумы деквантования, диктуемые «теоремой Хефнера» [18]. Оптимальный режим в схеме рис. 1 автоматически отвечает условию превышения энергии сигнала над критическим квантовым порогом $\hbar\omega_0/2$, который обусловлен вакуумным найквистовским шумом, имеющим широкий спектр и перекрывающим в данной схеме всю полосу сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Брагинский В. Б., Воронцов Ю. И., Халили Ф. Я. ЖЭТФ, 1977, **73**, с. 1340. [2] Додонов В. В., Манько В. И., Руденко В. Н. Квант. электроника, 1980, **7**, № 10, с. 2124. [3] Брагинский В. Б., Воронцов Ю. И. УФН, 1974, **114**, с. 41. [4] Брагинский В. Б., Воронцов Ю. И., Халили Ф. Я. Письма в ЖЭТФ, 1978, **27**, с. 296. [5] Thorne K. S. et al. Phys. Rev. Lett., 1978, **40**, p. 667. [6] Thorne K. S. et al. Rev. Mod. Phys., 1980, **52**, p. 341. [7] Додонов В. В., Манько В. И., Руденко В. Н. ЖЭТФ, 1980, **78**, с. 881. [8] Стратонович Р. Л., Гришанин Б. А. Проблемы передачи информации, 1970, **6**, № 3, с. 15. [9] Гришанин Б. А. Радиотехн. и электроника, 1973, **18**, с. 789. [10] Мандельштам И. Л. Лекции по квантовой механике. Собр. трудов, т. 5. М.: Наука, 1950. [11] Хелстром К., Лиу Дж., Гордон Дж. ТИИЭР, 1970, **58**, № 10, с. 150. [12] Гришанин Б. А. Изв. АН СССР. Сер. Техн. кибернетика, 1973, № 5, с. 127. [13] Хаус Г. ТИИЭР, 1970, **58**, № 10, с. 208. [14] Курикша А. А., Курушин А. Д. Радиотехн. и электроника, 1969, **14**, с. 1987. [15] Гусев А. В., Руденко В. Н. ЖЭТФ, 1979, **76**, с. 1488. [16] Гришанин Б. А. Теор. и матем. физика, 1981, **48**, № 3, с. 396. [17] Гришанин Б. А. Квантовая электродинамика для радиофизиков. М.: Изд-во МГУ, 1981. [18] Herner H. Proc. I. R. E., 1962, **50**, p. 1604.

Поступила в редакцию
23.04.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, Т. 24, № 2

УДК 621.372.6:512.642:512.563.3

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЛГЕБРЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ N-ПОЛЮСНИКОВ

В. И. Шестаков

(кафедра общей физики для физического факультета)

§ 1. Вместо обычного термина «многополюсник» (МП), очевидно непригодного, когда число N полюсов МП мало, будем применять термин «**N-полюсник**» (NП). **Бесполюсником** или 0- **полюсником** будем называть любую **автономную физическую систему**. Одним из простых примеров такой системы может служить **колебательный контур**, в котором происходят лишь **собственные колебания**. В общем случае 0-полюсник будем обозначать символом (X), где X — любая комбинация букв и цифр, используемая как **имя** («ярлык») данного 0-полюсника.

НП при $N \neq 0$ будем называть любую **неавтономную физическую систему**, взаимодействующую с окружающей средой или другими НП в N пунктах («полюсах»). В общем случае НП будем обозначать прежним [1] символом ${}^{\mathbf{N}}(X)$, где полужирная буква **N** означает **нумерацию полюсов** данного НП.

Пример 1. Рассматривая электронные лампы 6Г7, 6Q7, 6Н1П и операционный усилитель μA741 [2], заключенный в 8-контактном корпусе, как НП, обозначим их соответственно символами ${}^{8}(6Г7)$, ${}^{8}(6Q7)$, ${}^{9}(6Н1П)$ и ${}^{8}(\mu A741)$, где индексы 8 и 9 — нумерации полюсов соответствующих НП. Некоторые полюсы могут оказаться **холостыми**, т. е. не соединенными друг с другом и не подключенными ни к одному из электродов НП, как, например, полюсы: 8, 1, 5 усилителя ${}^{8}(\mu A741)$.

N-полюсник ${}^{\mathbf{N}}(X)$ можно условиться обозначать графически, как показано на рис. 1(*а*) или 1(*б*). В случаях, когда $N=1$ или 0, графические обозначения **N**-полюсников ${}^{\mathbf{N}}(X)$ могут быть еще проще, а именно такими, как на рис. 1(*в*) или 1(*г*).

§ 2. **Взаимозаменяемые** НП условимся называть **эквивалентными**. В качестве знаков эквивалентности и неэквивалентности будем применять знаки «=» и «≠». Если $\mathbf{N}_1 \neq \mathbf{N}_2$, то ${}^{\mathbf{N}_1}(A) \neq {}^{\mathbf{N}_2}(B)$, т. е. равенство $\mathbf{N}_1=\mathbf{N}_2$ является **необходимым**, но, разумеется, не достаточным условием эквивалентности ${}^{\mathbf{N}_1}(A)={}^{\mathbf{N}_2}(B)$. Эквивалентность ${}^{\mathbf{N}}(A)={}^{\mathbf{N}}(B)$ является, как правило, приближенно верной, если ${}^{\mathbf{N}}(A)$ и ${}^{\mathbf{N}}(B)$ — символы реально взаимозаменяемых НП. Примером может служить эквивалентность ${}^{8}(6Г7)={}^{8}(6Q7)$, где лампа 6Q7 — иностранный эквивалент лампы 6Г7. Если же ${}^{\mathbf{N}}(A)$ и ${}^{\mathbf{N}}(B)$ — лишь различные символы **одного и того же** НП, то ${}^{\mathbf{N}}(A)={}^{\mathbf{N}}(B)$ — **точное равенство**. Например, формула ${}^{2}(R)={}^{2}(R^{-1})$ — **точное равенство**, ибо ${}^{2}(R)$ и ${}^{2}(R^{-1})$, где R — сопротивление, лишь **различные символы одного и того же резистора.**

§ 3. **Параллельное соединение** (**П-соединение**) ${}^{\mathbf{N}}(A)$ с ${}^{\mathbf{N}}(B)$ будем, как и прежде [1], обозначать символом ${}^{\mathbf{N}}(A)+(B)$, а **N**-полюсник, содержащий эту цепь, — символом ${}^{\mathbf{N}}((A)+{}^{\mathbf{N}}(B))$. Считая этот НП **идеальным**, т. е. не изменяющим параметров цепи ${}^{\mathbf{N}}(A)+{}^{\mathbf{N}}(B)$, получаем равенство

$$ {}^{\mathbf{N}}(A)+{}^{\mathbf{N}}(B)={}^{\mathbf{N}}((A)+(B)), \qquad (\mathrm{AO}) $$

утверждающее, что **П-соединение любых двух НП является** НП. Точнее говоря, формула (АО) утверждает: **в результате операции П-соединения N-полюсников** ${}^{\mathbf{N}}(A)$ **и** ${}^{\mathbf{N}}(B)$ **получается N-полюсник** ${}^{\mathbf{N}}((A)+(B))$. При $N=0$ формула (АО) принимает следующий вид:

$$ (A)+(B)=((A)+(B)), \qquad (\mathrm{AO}^0) $$

где знак плюс служит уже не знаком П-соединения, а имеет смысл обычного знака сложения, используемого при счете любых индивидуально существующих объектов.

Пример 2. Пусть ${}^{\mathbf{N}}(A)$ и ${}^{\mathbf{N}}(B)$ — некоторые микросхемы с N выводами (полюсами) каждая. П-соединение их — микросхема ${}^{\mathbf{N}}(A)+{}^{\mathbf{N}}(B)$. Поместив ее в металлический или пластмассовый корпус («черный ящик») и выведя наружу все ее полюсы (сохраняя их прежнюю нумерацию), получим $\mathbf{N}$-полюсник ${}^{\mathrm{N}}((A)+(B))$. Если при этом все параметры цепи ${}^{\mathrm{N}}(A)+{}^{\mathrm{N}}(B)$ останутся практически прежними, то цепь будет эквивалентна $\mathbf{N}$-полюснику ${}^{\mathrm{N}}((A)+(B))$. Эта эквивалентность будет с достаточной точностью выражаться формулой (АО). Положив $N=0$, т. е. обломав все выводы $\mathbf{N}$-полюсника ${}^{\mathrm{N}}((A)+(B))$, получим 0-полюсник $((A)+(B))$, эквивалентный бесполюсной цепи $(A)+(B)$. Эквивалентность в этом случае выражается формулой (АО^0). Аналогичный смысл имеет формула и в общем случае, когда (A) и (B) не микросхемы, а любые автономные физические системы.

Автономные системы не могут быть (оставаясь автономными) соединенными друг с другом ни параллельно, ни как-либо еще, и поэтому знак плюс в (АО^0) уже не имеет прежнего смысла — знака П-соедине-

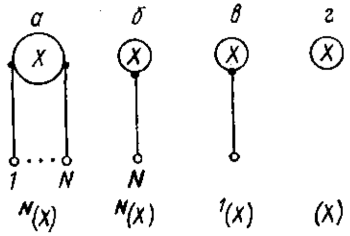

Рис. 1

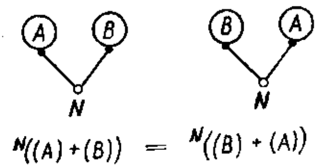

Рис. 2

ния. Пара автономных систем (A) и (B) эквивалентна, очевидно, автономной системе $((A)+(B))$, содержащей эту пару, — в этом смысл формулы (АО^0) в общем случае.

§ 4. Законы, выражаемые формулами

$$ {}^{\mathrm{N}}((A)+(B))+{}^{\mathrm{N}}(C)={}^{\mathrm{N}}(A)+{}^{\mathrm{N}}((B)+(C)), \tag{A1} $$

$$ {}^{\mathrm{N}}(A)+{}^{\mathrm{N}}(B)={}^{\mathrm{N}}(B)+{}^{\mathrm{N}}(A), \tag{A2} $$

имеют очень обширную область действия. Назовем их **основными законами** П-соединений $\mathbf{N}$П.

Ассоциативному закону (А1) удовлетворяют все **пассивные** $\mathbf{N}$П, т. е. $\mathbf{N}$П, не содержащие внутренних источников энергии, а также и такие активные $\mathbf{N}$П, наличие источников энергии в которых не влечет изменения параметров $\mathbf{N}$П в процессе осуществления их П-соединений.

Коммутативный закон (А2) П-соединений $\mathbf{N}$П (рис. 2) справедлив для **любых $\mathbf{N}$П с сосредоточенными параметрами**, ибо такие параметры не зависят от пространственных координат при отсутствии внешних и внутренних полей или при достаточно хорошей экранировке $\mathbf{N}$П.

Обобщив эти законы на любое число m $\mathbf{N}$-полюсников ${}^{\mathrm{N}}(X_k)$, где $k=1, 2, \ldots, m$, мы можем применять символ $\sum\limits_{k=1}^{m}{}^{\mathrm{N}}(X_k)$ для обозначения П-соединения m N-полюсников ${}^{\mathrm{N}}(X_k)$. Если для всех значений k ${}^{\mathrm{N}}(X_k)={}^{\mathrm{N}}(X)$, то символ $\sum\limits_{k=1}^{m}{}^{\mathrm{N}}(X_k)$ можно заменить символом $m\cdot{}^{\mathrm{N}}(X)$, означающим П-соединение m одинаковых $\mathbf{N}$П ${}^{\mathrm{N}}(X)$. Используя эти символы, получаем формулы

$$ \sum_{k=1}^{m}{}^{\mathrm{N}}(X_k)={}^{\mathrm{N}}\Big(\sum_{k=1}^{m}(X_k)\Big),\quad m\cdot{}^{\mathrm{N}}(X)={}^{\mathrm{N}}(m\,(X)), \tag{AO$_m$} $$

обобщающие формулу (АО) на любое число m N-полюсников. Натуральное число m в символе $m\cdot {}^{\mathrm{N}}(X)$ играет роль оператора П-соединения m одинаковых N-полюсников ${}^{\mathrm{N}}(X)$. При $N=0$ получаем формулы

$$\sum_{k=1}^{m}(X_k)=\left(\sum_{k=1}^{m}(X_k)\right),\quad m(X)=(m(X)), \qquad (\mathrm{AO}_m^0)$$

обобщающие формулу (AO^0) на любое число m бесполюсников (X). Знак Σ здесь аналогичен знаку суммы, а число m является обычным коэффициентом.

§ 5. Положив

$$1\cdot{}^{\mathrm{N}}(A)\rightleftharpoons{}^{\mathrm{N}}(A), \qquad (\mathrm{D1})$$

где $\rightleftharpoons$ — символ «означает» или «равно по определению», получим как следствия законов (А1) и (А2) следующие формулы:

$$1\cdot{}^{\mathrm{N}}(A)={}^{\mathrm{N}}(A), \qquad (1)$$

$$m(n\,{}^{\mathrm{N}}(A))=(mn)\cdot{}^{\mathrm{N}}(A), \qquad (2)$$

$$(m+n)\cdot{}^{\mathrm{N}}(A)=m\cdot{}^{\mathrm{N}}(A)+n\cdot{}^{\mathrm{N}}(A), \qquad (3)$$

$$m({}^{\mathrm{N}}(A)+{}^{\mathrm{N}}(B))=m\cdot{}^{\mathrm{N}}(A)+m\cdot{}^{\mathrm{N}}(B), \qquad (4)$$

где m, n — любые натуральные числа, а ${}^{\mathrm{N}}(A)$, ${}^{\mathrm{N}}(B)$ — любые NП, удовлетворяющие законам (А1) и (А2). Эти формулы соответственно аналогичны аксиомам 5^0—8^0 линейного пространства (линейной алгебры) в книге [3].

Формулы (2)—(4) позволяют весьма компактно представить П-соединения любого числа одинаковых NП (рис. 3—5). Рис. 3 иллюстрирует формулу (2), а рис. 4 и 5 — соответственно формулы (3) и (4)

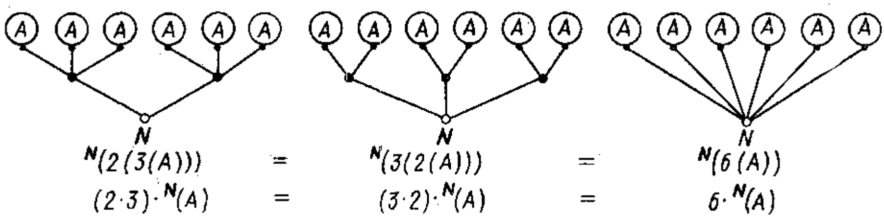

Рис. 3

при $m=2$, $n=3$. Верхняя строка надписей на рис. 3 содержит равенство (2) в виде, соответствующем правой части, а нижняя строка — в виде, соответствующем левой части формулы (АО).

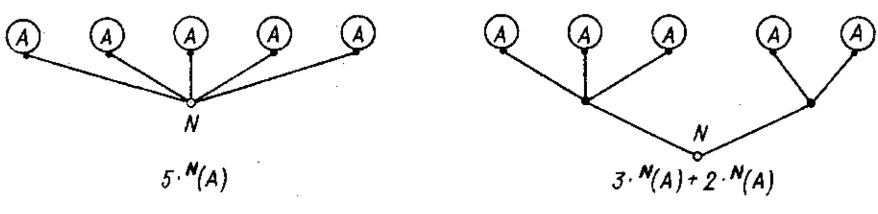

Рис. 4

Каждая прямая на рис. 2—5 обозначает N проводов, соединяющих полюсы всей цепи с соответствующими полюсами каждого NП. В случае $N=1$ и только в этом случае прямые на рисунках обозначают одиночные каналы передачи энергии или информации между NП. Помечать эти каналы числом 1 на рисунках, разумеется, излишне. В случае $N=0$ никаких соединительных линий, очевидно, не должно быть.

Пример 3. Представленное на рис. 4 равенство $5\cdot {}^{N}(A)=3\cdot {}^{N}(A)+2\cdot {}^{N}(A)$ при $N=0$ примет вид: $5(A)=3(A)+2(A)$. Поэтому на рисунке, соответствующем ему, должны остаться лишь одни кружоч-

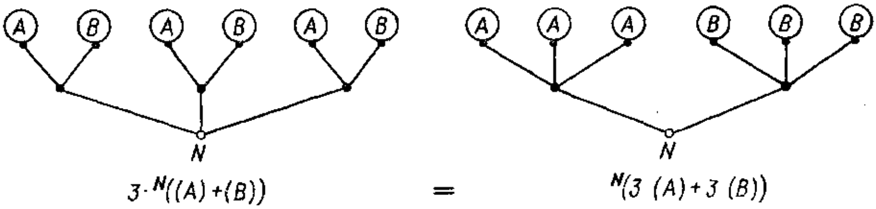

Рис. 5

ки, помеченные буквой A. Знаку плюс, содержащемуся в выражении $3(A)+2(A)$, должен соответствовать пробел, несколько увеличенный по сравнению с пробелами между соседними кружочками в тройке и паре кружочков, представляющих слагаемые $3(A)$ и $2(A)$ данного выражения.

Описанные здесь условные графические обозначения NП при $N=0$ имеют вид наглядных диаграмм, которыми в школе иллюстрируют коммутативный и ассоциативный законы сложения чисел.

§ 6. NП, все полюсы которого холостые, обозначим символом ${}^{N}(\ )$ и назовем **пустым** NП. NП, все полюсы которого «закорочены», т. е. соединены друг с другом **идеальными проводниками** (тока, энергии или информации), назовем **N-полюсным узлом** и обозначим символом ${}^{N}(\bullet)$. N-полюсники ${}^{N}(\ )$ и ${}^{N}(\bullet)$ назовем **особыми** NП ввиду особой роли, которую играют в операции П-соединения NП. Они подчиняются законам (А1) и (А2), но, кроме того, при любом ${}^{N}(X)$ они подчиняются следующим **законам поглощения**:

$$ {}^{N}(\ )+{}^{N}(X)={}^{N}(X), \tag{А3}$$

$$ {}^{N}(\bullet)+{}^{N}(X)={}^{N}(\bullet). \tag{А 4}$$

Как видно из (А3), (А4), ${}^{N}(\ )$ является **нейтральным**, а ${}^{N}(\bullet)$ — **всепоглощающим элементом** операции «+», т. е. операции П-соединения NП. Формулы (А3) и (А4) аналогичны известным равенствам $0+z=z$, $\infty+z=\infty$, где z — любое комплексное число, включая и несобственное число ∞. Подобно тому как из этих равенств следуют равенства $0+0=0$, $\infty+\infty=\infty$, из формул (А3) и (А4) следуют формулы

$$ {}^{N}(\ )+{}^{N}(\ )={}^{N}(\ ),\quad {}^{N}(\bullet)+{}^{N}(\bullet)={}^{N}(\bullet). \tag{5}$$

Они являются частными случаями закона **идемпотентности**:

$$ {}^{N}(x)+{}^{N}(x)={}^{N}(x), \tag{А5}$$

которому удовлетворяет любой NП ${}^{N}(x)$, некоторые полюсы которого холостые, а все остальные «закорочены». Такой NП назовем **вырожденным** NП(ВNП). Из (А5) следует формула

$$ (m+1)\cdot {}^{N}(x)={}^{N}(x), \tag{6}$$

где m — любое натуральное число, а ${}^{N}(x)$ — любой ВNП. Для невырожденных NП формулы (А5) и (6) ложны.

Формулы (А3)—(А5) и (6) выражают эквивалентные преобразования П-соединений NП, позволяющие упрощать П-соединения за счет сокращения общего числа NП, содержащихся в них.

§ 7. Отношение ${}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(B)$, определяемое формулой

$$({}^{N}(A)) \leqslant {}^{N}(B)) \Leftrightarrow ({}^{N}(A) + {}^{N}(B) = {}^{N}(B)), \tag{D2}$$

верно, **если и только если** наличие или отсутствие шунта ${}^{N}(A)$ никак не сказывается на ${}^{N}(B)$. Поэтому отношение ${}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(B)$ будем называть отношением **шунт-нейтральности** ${}^{N}(A)$ к ${}^{N}(B)$. Из формул (А1)—(А5) и (6) следуют формулы

$$({}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(B)) \,\&\, ({}^{N}(B) \leqslant {}^{N}(C)) \Rightarrow ({}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(C)), \tag{I}$$

$$({}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(B)) \,\&\, ({}^{N}(B) \leqslant {}^{N}(A)) \Rightarrow ({}^{N}(A) = {}^{N}(B)), \tag{II}$$

$$({}^{N}(A) = {}^{N}(\bullet)) \,\&\, ({}^{N}(A) \leqslant {}^{N}(B)) \Rightarrow ({}^{N}(B) = {}^{N}(\bullet)), \tag{III}$$

$${}^{N}(\ ) \leqslant {}^{N}(X), \tag{IV}$$

$${}^{N}(X) \leqslant {}^{N}(\bullet), \tag{V}$$

$${}^{N}(x) \leqslant {}^{N}(x), \tag{VI}$$

$$m \cdot {}^{N}(x) \leqslant {}^{N}(x), \tag{VII}$$

где & — знак конъюнкции: $p \& q$ — «p и q», а $\Rightarrow$ — знак **импликации:** $p \Rightarrow q$ — «если p, то q» высказываний p и q.

Формула (I) утверждает, что отношение «$\leqslant$», определяемое формулой ($D2$), **транзитивно**, а формула (II) — что если NП шунт-нейтральны друг к другу, то они эквивалентны. Формула (III) выражает очевидное следствие закона (А4). Формулы (IV) и (V) утверждают, что пустой NП шунт-нейтрален любому NП, а любой NП шунт-нейтрален N-полюсному узлу. Из (V) следует формула

$$\sum_{k=1}^{m} {}^{N}(X_k) \leqslant {}^{N}(\bullet), \tag{VIII}$$

утверждающая, что П-соединение m любых NП шунт-нейтрально к ${}^{N}(\bullet)$. Формулы (VI) и (VII) верны лишь для BNП.

Отношение «$\leqslant$», определяемое формулой (D2), может применяться в случаях, когда требуется упростить П-соединение NП. Всякое П-соединение NП можно упростить, отключив (отсоединив) шунт-нейтральные NП, содержащиеся в данном П-соединении. При этом можно применять также и такие эквивалентные преобразования NП, которые сами не изменяют общего числа NП в преобразуемых П-соединениях.

Пример 4. Преобразуя П-цепь $m \cdot ({}^{N}(A) + {}^{N}(B))$ сначала по формуле (4), не изменяющей общего числа NП, а затем по формуле (6), получаем преобразования $m({}^{N}(A) + {}^{N}(x)) = m \cdot {}^{N}(A) + m \cdot {}^{N}(x) = m \cdot {}^{N}(A) + {}^{N}(x)$, в результате которых исходная цепь упрощается. Мы получаем эквивалентную ей цепь $m \cdot {}^{N}(A) + {}^{N}(x)$, содержащую всего $m+1$ NП вместо $2m$ NП, содержавшихся в исходной цепи.

§ 8. Для BNП отношение ${}^{N}(x) \leqslant {}^{N}(y)$ аналогично отношению **включения** $X \subset Y$ множеств X и Y. Аналогом пустого NП ${}^{N}(\ )$ является пустое множество 0, а аналогом операции П-соединения ${}^{N}(x) + {}^{N}(y)$ BNП ${}^{N}(x)$ и ${}^{N}(y)$ — **операция сложения** $X+Y$ **множеств** X и Y. Аналогом N-полюсного узла ${}^{N}(\bullet)$ является **универсальный класс** в теории множеств [4]. Отношение ${}^{N}(x) \leqslant {}^{N}(y)$ аналогично также и отношению **частичного порядка** $a \leqslant b$ в **полурешетках** **(полу-**

структурах), а также в **булевой алгебре.** Операция П-соединения BNП аналогична операции **булева сложения,** а особые NП: $^{N}(\ )$ и $^{N}(\bullet)$ аналогичны соответственно **первому и последнему элементам булевой алгебры,** обозначаемым обычно символами 0 и 1 соответственно.

Особенно интересна и плодотворна аналогия между отношением $^{N}(x) \leqslant {}^{N}(y)$ и **импликацией** $p \Rightarrow q$ высказываний p и q. Аналогами особых NП: $^{N}(\ )$ и $^{N}(\bullet)$ являются соответственно **истинностные значения:** F — «ложь» и T — «истина» высказываний (предложений) в **классическом (двузначном) исчислении высказываний.** Операция П-соединения BNП аналогична операции **дизъюнкции** $p \vee q$ — «p или q», где союз «или» понимается в смысле, не исключающем «p и q». **Утверждению** $\vdash p$ — «p верно» соответствует в этой аналогии **эквивалентность** $^{N}(x) = {}^{N}(\bullet)$, а основному в исчислении высказываний **правилу вывода:** «если $\vdash p$ и $\vdash (p \Rightarrow q)$, то $\vdash q$» аналогична формула (III). **Эквивалентность** $^{N}(x) = {}^{N}(y)$ аналогична **равносильности** $p \Leftrightarrow q$ — «p если и только если q», т. е. **логической эквивалентности** высказываний.

Используя следующую замену символов:

$$\begin{pmatrix} {}^{N}(A),\ {}^{N}(B),\ {}^{N}(C),\ \ldots,\ +,\ \leqslant,\ = \\ p,\ q,\ r,\ \ldots,\ \vee,\ \Rightarrow,\ \Leftrightarrow \end{pmatrix}, \tag{$*$}$$

можно каждую формулу, выражающую П-соединения NП, преобразовать в аналогичную формулу исчисления высказываний (ИВ). Все законы П-соединений NП при замене ($*$) преобразуются в аналогичные законы ИВ. В частности, законы (A3), (A4), (IV), (V) преобразуются соответственно в аналогичные законы ИВ:

$$F \vee p \Leftrightarrow p,\quad T \vee p \Leftrightarrow T,\quad F \Rightarrow p,\quad p \Rightarrow T,$$

где p — любое высказывание, имеющее смысл. Формулы, ложные для NП, преобразуются в формулы, ложные в ИВ. Например, ложная формула $^{N}(\bullet) \leqslant {}^{N}(\ )$ преобразуется в формулу $T \Rightarrow F$, ложную в ИВ. Заметим, что переменная p в этих примерах означает высказывание, истинностное значение которого может быть промежуточным между F и T.

Моделью переменной p **двузначного** ИВ является **двухпозиционный N-полюсный переключатель,** символ которого определим формулой

$$^{N}(p) \rightleftharpoons \begin{cases} {}^{N}(\bullet), & \text{если } p \Rightarrow T, \\ {}^{N}(\ ), & \text{если } p \Rightarrow F. \end{cases} \tag{D3}$$

Из (D3) следуют эквивалентности: $^{N}(T) = {}^{N}(\bullet)$, $^{N}(F) = {}^{N}(\ )$.

Моделью **отрицания** $\sim p$ — «не-p» высказывания p служит переключатель

$$^{N}(p)' \rightleftharpoons {}^{N}(\sim p), \tag{D4}$$

который назовем **инверсным** переключателю $^{N}(p)$.

Операцию

$$({}^{N}(p))' \rightleftharpoons {}^{N}(p') \tag{D5}$$

назовем **инверсией** или операцией **переключения** переключателя $^{N}(p)$. Ее можно осуществить посредством двухпозиционного реле $^{N}(R)$, содержащегося в цепи $^{N}(p) + {}^{N}(R)$. Действительно, тогда $^{N}(r) = {}^{N}(p)'$, где r — контакт, замыкаемый при срабатывании реле $^{N}(R)$.

Используя цепь $^{N}(p) + {}^{N}(q) + {}^{N}(R)$, получим эквивалентность

$$^{N}(r) = {}^{N}(\overline{p \vee q}),$$

где $p\overline{\vee}q$ — операция Пирса, через которую можно, как известно, выразить любую операцию классического ИВ. В самом деле,

$$^{N}(r) = (^{N}(p) + {^{N}(q)})' = (^{N}(p \vee q))' = {^{N}(p \vee q)'} = {^{N}(\sim (p \vee q))} =$$

$$= {^{N}(p \overline{\vee} q)}, \text{ где } (p \overline{\vee} q) \rightleftharpoons \sim (p \vee q).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Шестаков В. И. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1982, **23**, № 1, с. 31. [2] Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. М.: Мир, 1979. [3] Ильин В. А., Позняк Э. Г. Линейная алгебра. М.: Наука, 1974. [4] Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М.: Мир, 1966.

Поступила в редакцию
25.04.82