

Лекція 7. ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

7.1. Основні типи ДБЖ

Відповідно до міжнародного стандарту ІЕС 62040-3, сучасні ДБЖ поділяються на три основні типи:

- ДБЖ резервного типу — Passive Standby UPS (раніше називалися Off-Line UPS);
- ДБЖ лінійно-інтерактивного типу — Line-Interactive UPS;
- ДБЖ із подвійним перетворенням енергії — Double-Conversion UPS (раніше називалися On-Line UPS).

Загальна структура ДБЖ резервного типу, подана на рис. 7.1, містить вхідний фільтр (ВФ), зарядний пристрій (ЗП), інвертор (ІНВ), акумуляторну батарею (АБ), блок комутації (БК) і стабілізатор (СТ).

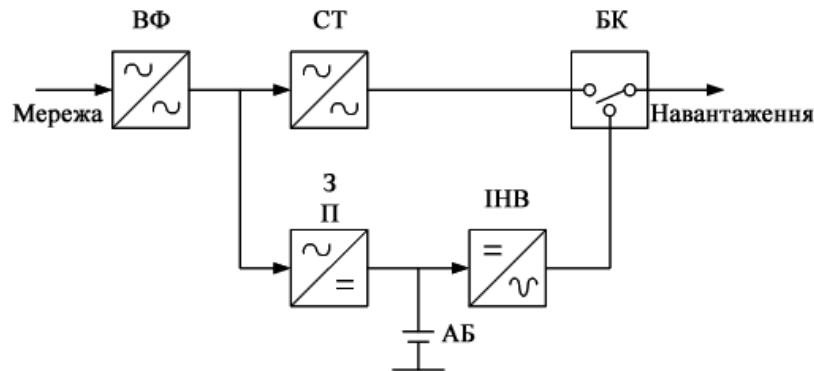


Рис. 7.1. Загальна структура ДБЖ резервного типу

У простіших і дешевших моделях ДБЖ резервного типу стабілізатор відсутній. Інвертор, підключений паралельно мережному джерелу, діє як джерело резервного живлення.

За наявності мережевої напруги відповідної якості, навантаження підключається комутатором до мережі через високочастотний вхідний фільтр ВФ і стабілізатор СТ. Як останній можуть бути використані ферорезонансний трансформатор або автотрансформатор з перемиканням відводів обмотки (рис. 7.2), що виконує функції дискретного регулятора (коректора) напруги. Ця функція забезпечує розширення діапазону зміни вхідної напруги, при якому не відбувається перемикання в акумуляторний режим.

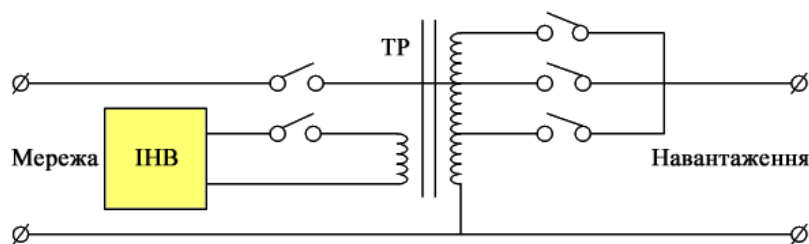


Рис. 7.2. Підключення навантаження до мережі за допомогою автотрансформатора з перемиканням відводів обмотки

При відхиленні вхідної напруги вище за припустиме значення або відсутності напруги у мережі, навантаження перемикається на інвертор, вихідна напруга якого має прямокутну форму з регульованими паузами між додатними й від'ємними імпульсами (рис. 7.3). Це забезпечує стабілізацію діючого значення основної гармоніки вихідної напруги (50 Гц) при зміні напруги акумуляторної батареї. Таким чином, ДБЖ резервного типу являють собою комбінацію стабілізатора й інвертора, що комутуються за допомогою спеціального автомата введення резерву (на рис. 7.2 не відображено).

Переваги ДБЖ резервного типу:

- простота й низька вартість;
- високий ККД у мережевому режимі.

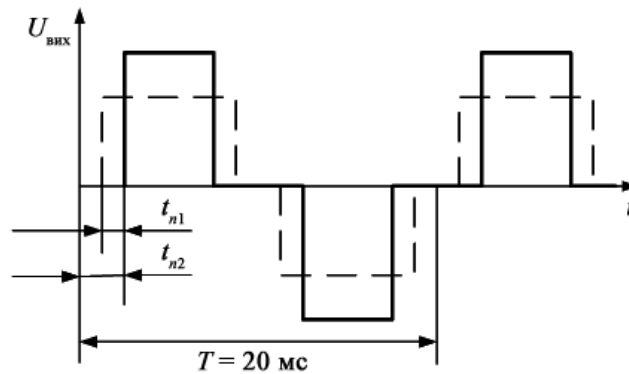


Рис. 7.3. Форма вихідної напруги інвертора ДБЖ резервного типу

Недоліки:

- затримка у часі перемикавання навантаження з мережі на інвертор і навпаки;
- несинусоїдальна вихідна напруга в автономному режимі;
- ДБЖ не захищає навантаження від неприпустимих відхилень частоти й форми напруги мережі;
- можливе виникнення небажаних перехідних процесів при перемиканнях з мережі на інвертор і навпаки;
- нелінійне навантаження з високим коефіцієнтом потужності викликає спотворення вхідного струму (відхилення від синусоїдальної форми) й знижує вхідний коефіцієнт потужності.

Типові значення потужностей ДБЖ резервного типу перебувають у межах 250 - 1500 Вт.

У табл. 7.1 наведено основні технічні характеристики деяких найбільш відомих ДБЖ резервного типу.

Таблиця 7.1 Технічні характеристики резервних ДБЖ

Модель	LIK	Back-UPS AVR	SmartLine / Smart-Vision	Back Pro / BNT
Виробник	Tenci-Techno	APC	NeuHaus / N-Power	Powerman / Powercom
Потужність, кВА	0,5; 1,0; 1,5	0,5	0,3; 0,45; 0,7; 1,0; 1,5	0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,4
Діапазон вхідної напруги, В	220—27 %, +23 %	220 ± 27 %	220—23 %, +30 %	220 ± 25 %
Точність вихідної напруги, В	220 ± 7 %	220—10 %, +6 %	220—14,5 %, +10 %	220 ± 10 %

На рис. 7.4 зображено структурну схему ДБЖ лінійно-інтерактивного типу. Тут, на відміну від резервних ДБЖ, є двоспрямований перетворювач напруги (ДПН), що виконує як функцію інвертора, так і функцію зарядного пристрою. За наявності напруги у мережі ДПН працює як випрямляч і здійснює заряд АБ. Завдяки двоспрямованій дії й синусоїдальній формі напруги, яка формується в режимі інвертора, ДПН взаємодіє з мережним джерелом, тобто має інтерактивний тип.

Як і у резервних ДБЖ, для розширення діапазону зміни вхідної напруги без переходу на автономний режим використовується дискретний коректор напруги як стабілізуючий вузол. У мережному режимі ДБЖ можлива додаткова стабілізація вихідної напруги шляхом додавання або віднімання надлишку вихідної напруги ДПН. Такий принцип стабілізації отримав назву «дельта-перетворення» і використовується багатьма виробниками ДБЖ.

Переваги ДБЖ лінійно-інтерактивного типу (порівняно з резервними ДБЖ):

- синусоїдальна форма вихідної напруги в автономному режимі;
- поєднання функцій ЗМ й ІНВ в одному вузлі.

Деякі недоліки, властиві резервним ДБЖ, характерні й для ДБЖ лінійно-інтерактивного типу. Блок комутації є найбільш відповідальним місцем обох типів ДБЖ, оскільки саме від його роботи залежить забезпечення надійності всього ДБЖ. Це пов'язано з тим, що при переході ДБЖ в

автономний режим цей блок має забезпечувати чітке роз'єднання інвертора й мережного джерела з малим внутрішнім опором. При невиконанні цієї вимоги інвертор може виявитися замкненим накоротко й вийти з ладу.

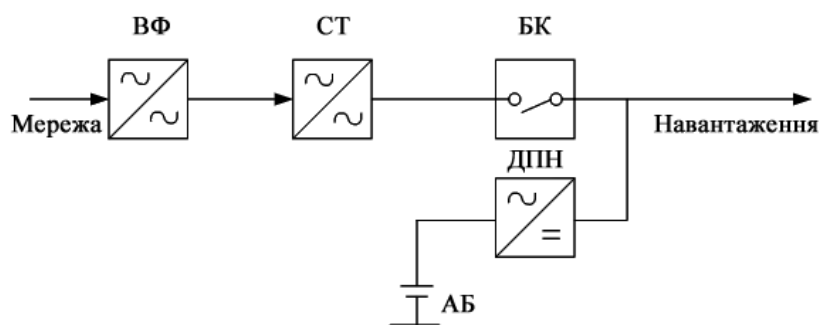


Рис. 7.4. Структура ДБЖ лінійно-інтерактивного типу

Типові потужності ДБЖ лінійно-інтерактивного типу перебувають у межах 500-3000 Вт. У табл. 7.4 наведено основні технічні характеристики окремих моделей ДБЖ лінійно-інтерактивного типу.

Спрощену структурну схему ДБЖ з подвійним перетворенням енергії зображено на рис. 7.5. За цією схемою інвертор ввімкнено послідовно у мережне джерело - навантаження.

Таблиця 7.4 Технічні характеристики лінійно-інтерактивних ДБЖ

Модель	Smart-UPS	PSI	PW5125	Real Smart / PC KIN
Виробник	APC	Liebert	Invensys	Powerman / Powercom
Потужність, кВт	0,42; 0,62; 0,7; 1,0; 1,4; 2,2	0,7; 1,0; 1,4; 2,2	1,0; 1,5; 2,2	0,7; 1,0; 1,5; 2,2
Діапазон вхідних напруг, В	220 - 28 %, +23 %	220 - 25 %, +24 %	220 - 30 %, +20 %	220 - 30 %, +25 %
Точність вихідної напруги, В	220 ± 10 %	220 - 15 %, +12 %	220 - 10 %, +6 %	220 ± 10 %

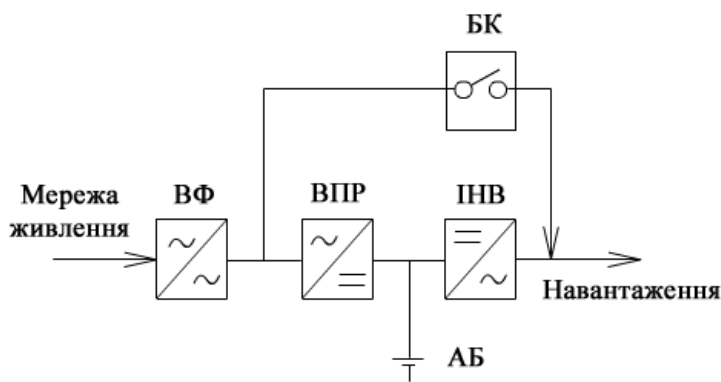


Рис. 7.5. Структурна схема ДБЖ із подвійним перетворенням енергії

При перебуванні мережевої напруги в допустимих межах (величина, частота, спотворення синусоїдальної форми) живлення навантаження відбувається у напрямку випрямляч - інвертор, де відбувається перетворення напруги змінного струму в постійний і навпаки, тобто має місце подвійне перетворення енергії. У режимі перевантаження або виходу з ладу будь-якого вузла подвійного перетворення навантаження перемикається прямо до мережі через блок комутації (БК) кола автоматичного шунтування (BYPASS). При зникненні мережі або недопустимих відхиленнях напруги ДБЖ миттєво переходить в автономний режим живлення навантаження енергією акумуляторної батареї. У мережевому режимі випрямляч виконує також функцію зарядного пристрою батареї. Випрямляч може виконуватися керованим (на тиристорах або IGBT транзисторах) або некерованим

(на діодах). Інвертори ДБЖ з подвійним перетворенням енергії складаються з IGBT-транзисторів, які комутуються з частотою 10-50 кГц, і вихідного фільтра, який забезпечує синусоїдальність напруги частоти 50 Гц.

За розглянутою схемою будуються ДБЖ середньої й великої потужності (понад 30 кВт), у яких використовуються акумуляторні батареї з номінальною напругою, яка перебуває у межах 360-384 В. У ДБЖ меншої потужності використовуються деякі різновиди основної топології подвійного перетворення, наприклад використовуються додаткові силові блоки перетворення (рис. 7.6, 7.7).

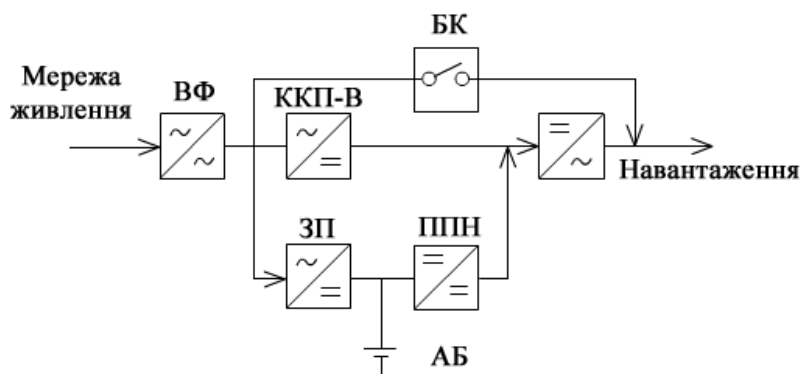


Рис. 7.6. Структура ДБЖ із подвійним перетворенням і коректором коефіцієнта потужності для однофазних ДБЖ.

Схема на рис. 7.6 використовується у однофазних ДБЖ потужністю до 3 кВА й містить блок коректора коефіцієнта потужності, поєднаного з некерованим випрямлячем (ККП-В), блок зарядного пристрою (ЗП), перетворювач постійної напруги (ППН). Функціональне призначення цих блоків є таким:

- ККП-В забезпечує перетворення напруги мережі змінного струму в стабільну напругу постійного струму. Цим досягається практично синусоїдальна форма струму, яка споживається з мережі, що дозволяє мати вхідний коефіцієнт потужності близьким до одиниці;
- ЗП формує необхідну напругу заряду акумуляторної батареї, номінальне значення якої обирається залежно від потужності ДБЖ і перебуває в межах від 36 до 96 В;
- ППН забезпечує узгодження напруги батареї з високовольтною напругою живлення інвертора й розрахований на максимальну потужність навантаження.

Схема на рис. 7.7 використовується як у однофазних, так і у трифазних ДБЖ потужністю 6-30 кВт. Тут ППН виконує як функцію ККМ, так і функцію стабілізатора напруги живлення інвертора. Номінальне значення напруги батареї обирається в межах 120-288 В. На вхід ЗП може подаватися як мережева напруга, так і стабільна постійна напруга з виходу ППН.

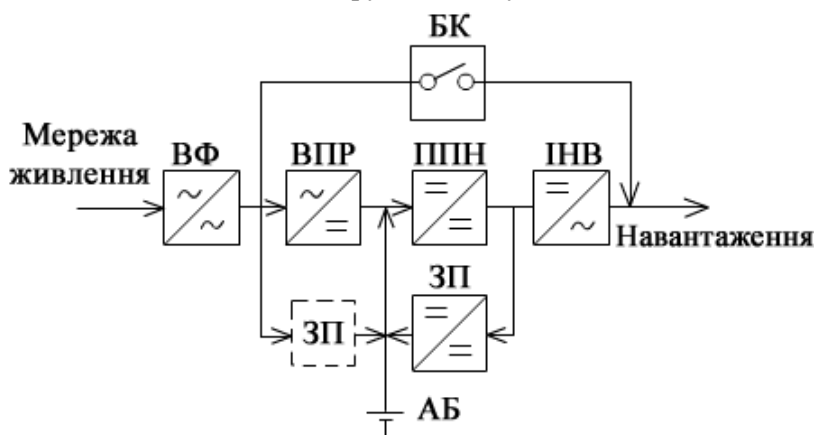


Рис. 7.7. Структура ДБЖ із подвійним перетворенням і коректором коефіцієнта потужності для одно- і трифазних ДБЖ потужністю 6-30 кВт

Основні переваги ДБЖ з подвійним перетворенням енергії:

- висока точність стабілізації синусоїдальної вихідної напруги в мережевому й автономному режимах;
- стабільна частота вихідної напруги за відхилення частоти мережі;

- відсутність перехідних процесів за перемикання з мережевого режиму на автономний і навпаки;
- можливість виключити вплив нелінійного навантаження з високим крос-фактором на форму вхідного струму;
- підвищена надійність системи щодо забезпечення безперебійного живлення навантаження за рахунок автоматичного шунтування.

У табл. 7.3-7.5 наведено основні технічні характеристики ряду моделей ДБЖ з подвійним перетворенням енергії.

Таблиця 7.3-Технічні характеристики трифазних ДБЖ

Модель	HL	UPS 7200	Borri 4000
Виробник	Astrid	Liebert	Invensys
Потужність, кВт	20, 25, 32, 40, 60, 80, 100, 125	30, 40, 60	20, 30, 40, 60, 80, 100, 120
Діапазон вхідних напруг, В	380 ± 10 %	380 -15 %, +10 %	380 -10 %, +15 %
Точність вихідної напруги, В	380 ± 1 %	380 ± 1 %	380 ± 1 %
Коефіцієнт потужності за входом	0,83	0,8	0,83
Коефіцієнт потужності за виходом	0,8	0,8	0,8

Таблиця 7.4-Технічні характеристики однофазних ДБЖ малої потужності

Модель	DPK	UPStation GXT		PW9120	ULTimate
Виробник	Tenci-Techno	Liebert		Invensys	Powercom
Потужність, кВт	1,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5	2,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0
Діапазон вхідних напруг, В	220 -27 %, +25 %	220 ± 27 %	220 -20 %, +27 %	220 -27 %, +25 %	220 -27 %, +25 %
Точність вихідної напруги, В	220 ± 3 %	220 ± 3 %	220 ± 3 %	220 ± 3 %	220 ± 2 %
Коефіцієнт потужності за входом	0,95	0,95	0,95	0,97	0,98
Коефіцієнт потужності за виходом	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Таблиця 7.5-Технічні характеристики однофазних ДБЖ середньої потужності

Модель	DPK	UPStation GXT	PW9150	ONLine
Виробник	Tenci-Techno	Liebert	Invensys	Powercom
Потужність, кВт	6,0; 10,0	6,0; 10,0	8,0; 10,0; 12,0	7,5; 10,0; 15,0
Діапазон вхідної напруги, В	220 -15 %, +25 %	220 -15 %, +25 %	220 -20 %, +25 %	220 ± 25 %
Точність вихідної напруги, В	220 ± 3 %	220 ± 3 %	220 ± 2 %	220 ± 1 %
Коефіцієнт потужності за входом	0,98	0,98	0,98	н/д
Коефіцієнт потужності за виходом	0,7	0,7	0,7	0,8

7.2. Енергетичні показники ДБЖ змінного струму. Основні поняття та співвідношення

Енергетичні показники джерел безперебійного живлення (ДБЖ) характеризують ефективність використання, ефективність споживання електричної енергії, навантажувальні й перевантажувальні характеристики системи.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) характеризує ефективність використання обладнання й характеризується відношенням вихідної активної потужності до вхідної

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} 100\% \quad (7.1)$$

Теплові втрати - активна потужність, що розсіюється обладнанням

$$\Delta P = (1 - \eta) P_{\text{вх}}. \quad (7.2)$$

Повна потужність (S) характеризує величину завантаженості мережі обладнанням, дорівнює добутку діючих значень напруги й струму

$$S = UI \text{ (ВА)}, \quad (7.3)$$

і визначається трьома складовими потужності

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (7.4)$$

де P - активна потужність (Вт); Q - реактивна потужність (ВАр);

T - потужність спотворень (В А). Для лінійних навантажень T = 0.

Коефіцієнт потужності (Kp) характеризує ефективність споживання енергії й являє собою відношення активної потужності до повної

$$K_p = \frac{P}{S} = \cos \varphi_1 K_{\text{нл}} \quad (7.5)$$

де φ_1 - фазовий зсув між першими гармоніками напруги й струму;

$K_{\text{нл}}$ - коефіцієнт нелінійності

$$K_{\text{нл}} = \frac{I_1}{I} \leq 1, \quad (7.6)$$

де I_1 - діюче значення першої (основної) гармоніки струму;

I - діюче значення несинусоїдального періодичного струму

$$I = \sqrt{\sum_{n=1} I_n^2}, \quad (7.7)$$

де I_n - діюче значення «n»-гармоніки струму; n - порядок вищої гармоніки струму.

Енергетичний коефіцієнт - узагальнений показник ефективності обладнання

$$K_e = \eta K_p. \quad (7.8)$$

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності характеризує ступінь відхилення форми періодичної кривої струму від синусоїдальної

$$K_{\kappa 1} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2} I_n^2}}{I_1} \quad (7.9)$$

Без урахування гармонійних складових, значення яких менше 0,1%, допускається розрахунок коефіцієнта спотворень за таким співвідношенням:

$$K_{\kappa 2} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2} I_n^2}}{I} \quad (7.10)$$

Коефіцієнт нелінійності, що впливає на значення коефіцієнта потужності, може бути поданий за допомогою коефіцієнтів спотворень синусоїдальності

$$K_{\kappa \kappa} = \frac{1}{\sqrt{1 + K_{\kappa 1}^2}} = \sqrt{1 - K_{\kappa 2}^2} \quad (7.11)$$

Коефіцієнт амплітуди (крос-фактор) є відношенням амплітудного (пікового) значення струму до діючого

$$K_a = \frac{I_{\max}}{I} \quad (7.12)$$

Коефіцієнт навантаження - повна потужність навантаження, віднесена до номінальної потужності обладнання

$$s = \frac{S_{\kappa}}{S_{\text{ном}}} \cdot 100 \% \quad (7.13)$$

Коефіцієнт передачі повної потужності в навантаження - відношення гранично припустимої потужності навантаження до номінальної повної потужності обладнання

$$K_s = \frac{S_{\text{вх max}}}{S_{\text{ном}}} \cdot 100 \% \quad (7.14)$$

Навантажувальна характеристика - залежність коефіцієнта передачі повної потужності від значення коефіцієнта потужності навантаження:

$$Ks = f(Kp_{\kappa}) \quad (7.15)$$

Зовнішня характеристика - залежність вихідної напруги від коефіцієнта навантаження за номінальної вхідної напруги й заданому коефіцієнті потужності навантаження.

Перевантажувальна характеристика - це часово-струмова залежність, що визначає здатність ДБЖ витримувати перевантаження протягом певного часу.

Струм короткого замикання інвертора $I_{\text{кз}}$ - здатність інвертора при його зовнішньому короткому замиканні віддавати струм, кратний номінальному значенню вихідного струму, протягом певного часу. Відповідно до ДСТУ 27699-88 інвертор має забезпечити $I_{\text{кз}} = 2 \times I_{\text{ном}}$ протягом 0,1 с.

Розглянемо особливості зазначених характеристик і показники ефективності на прикладі ДБЖ, виконаного за топологією подвійного перетворення енергії, структурну схему якого зображено на рис. 7.8. Три основні кола перетворення енергії від зовнішніх джерел до навантаження:

- коло подвійного перетворення енергії від мережі (U_1);
- коло BYPASS, що забезпечує пряму передачу енергії від допоміжного джерела змінного струму до навантаження (U_2);
- коло перетворення енергії джерела постійного струму - акумуляторної батареї (U_3).

Передача енергії в навантаження одночасно дозволена тільки по одному із входів ДБЖ.

Залежно від потужності ДБЖ, у його складі може бути перетворювач постійної напруги ППН1 або ППН2.

Призначення ППН у структурі ДБЖ — піднімати до певного рівня напругу від акумуляторної батареї (ППН1) і стабілізувати напругу живлення інвертора, одночасно виконуючи функцію ККП (ППН2).

На рис. 7.8 не позначено зарядний пристрій (ЗП). Останній може бути реалізований модулем AC/DC, підключеним до входу U_1 , або модулем DC/DC, підключеним до шини живлення інвертора, або використаний заряд акумуляторної батареї (АБ) безпосередньо від силового випрямляча ДБЖ.

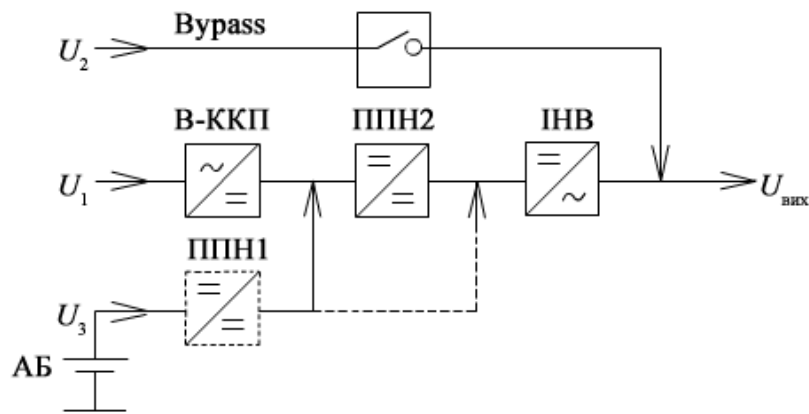


Рис. 7.8. Структурна схема ДБЖ із подвійним перетворенням:
В-ККП - випрямляч і коректор коефіцієнта потужності,
ІНВ - інвертор, ППН - перетворювач постійної напруги

Для узагальнення аналізу енергетичних показників при розмаїтості схемотехнічних рішень реалізації ДБЖ скористаємося його математичною моделлю у вигляді багатополосника (рис. 7.9), властивості якого описуються сімейством характеристик: вихідних, вхідних і перехідних (системних).

Входи 1—1', 2—2' і вихід 4—4' можуть бути однофазними або трифазними, в залежності від фазності ДБЖ. Для ДБЖ 1/1 (однофазний вхід - однофазний вихід) входи й вихід - однофазні. Для ДБЖ 3/1 (трифазний вхід - однофазний вихід) вхід 1—1' - трифазний, вхід 2—2' і вихід - однофазні. Для ДБЖ 3/3 (трифазний вхід - трифазний вихід) усі входи й вихід - трифазні.

Входи 1—1', 2—2' можуть живитися від загальної мережі або від двох незалежних джерел змінного струму. Вхід 1—1' і вихід 4—4' необоротні, що унеможливує режим рекуперації енергії з навантаження в мережу. Коефіцієнти потужності по входу й виходу в загальному випадку різні.

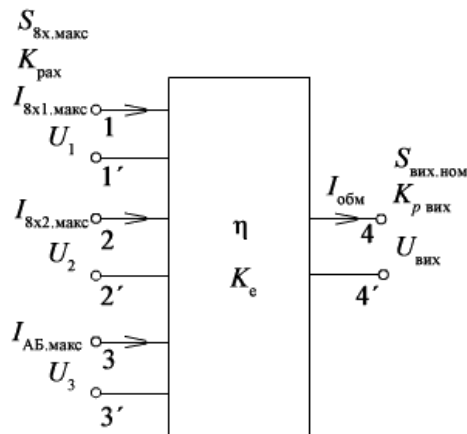


Рис. 7.9. Подання ДБЖ багатополосником

Вхід 2—2' і вихід 4—4' — оборотні, оскільки коло Вурасс являє собою двонаправлений зв'язок джерела з навантаженням, що дозволяє реалізовувати режим рекуперації енергії.

Вхід 3—3' (АБ) використовується тільки при неприпустимих відхиленнях напруг на входах 1—1' і 2—2'.

7.3. Вихідні характеристики ДБЖ

Номінальна повна вихідна потужність ($S_{\text{вих. ном}}$) - гранична повна потужність, яку інвертор може віддати в лінійне навантаження з коефіцієнтом потужності ($K_{pн}$), який дорівнює вихідному коефіцієнту потужності ДБЖ ($K_{p\text{вих}}$) за стандартних умов експлуатації ДБЖ. Найпоширеніший ряд номінальних потужностей ДБЖ з подвійним перетворенням енергії є таким:

- для однофазних ДБЖ: 1, (1,5) 3, 6, 10, (15) кВт;
- для ДБЖ із трифазним входом й однофазним виходом: 10, 15, 20 кВт;
- для трифазних ДБЖ: 10, (15), 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800 кВт.

Вихідний коефіцієнт потужності ($K_{p_{\text{вих}}}$), зазначений виробником, відповідає тому значенню коефіцієнта потужності навантаження, за якого забезпечується максимальна ефективність споживання навантаженням електроенергії від ДБЖ.

Значення $K_{p_{\text{вих}}}$ для сучасних ДБЖ із подвійним перетворенням прийняті в діапазоні від 0,7 (для ДБЖ потужністю до 10-20 кВт) до 0,8 (для ДБЖ 30 кВт і більше).

Номінальна активна вихідна потужність ($P_{\text{вих. ном}}$) - максимальна активна потужність, що передається в навантаження

$$P_{\text{вих. ном}} = K_{p_{\text{вих}}} S_{\text{вих. ном}} \quad (7.16)$$

Зовнішня характеристика відображає точність стабілізації вихідної напруги ДБЖ. Характер зовнішньої характеристики визначається внутрішнім опором силового кола, який включає випрямляч, коректор коефіцієнта потужності, перетворювач постійної напруги й інвертор. Однак, у зв'язку зі стабілізуючими властивостями ККП - ППН, які забезпечують стабільну напругу живлення інвертора, можна вважати, що основним параметром, що визначає зовнішню характеристику ДБЖ, є вихідний опір інвертора. Сучасні інвертори на IGBT-транзисторах із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) вихідної напруги мають низьке значення внутрішнього опору. Порівняно з силовими трансформаторами, інвертор має внутрішній опір в 5 разів менше, що забезпечує не тільки високу точність стабілізації вихідної напруги 1-2%, але й низькі значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності вихідної напруги (менш 3%) при струмах у нелінійних навантаженнях з коефіцієнтом амплітуди до 3.

Навантажувальна характеристика - це нелінійна залежність коефіцієнта передачі повної потужності від коефіцієнта потужності навантаження. Коефіцієнт передачі повної потужності в навантаження досягає 100%, коли коефіцієнт потужності лінійного навантаження індуктивного характеру збігається з вихідним коефіцієнтом потужності ДБЖ.

На рис. 7.10 зображено навантажувальні характеристики при різних типах лінійного навантаження RL, RC і нелінійного навантаження RCD. При суто активному навантаженні коефіцієнт передачі потужності відповідає значенню $K_{p_{\text{вих}}}$ 100 %.

За нелінійного навантаження коефіцієнт передачі потужності знижується. Найпоширеніші однофазні нелінійні навантаження типу RCD - некеровані випрямлячі з ємнісним фільтром. Коефіцієнт амплітуди струму такого навантаження досягає 2,5-3 при коефіцієнті потужності 0,7-0,6.

На рис. 7.11 зображено залежності коефіцієнта потужності й коефіцієнта амплітуди RCD-навантаження у функції тривалості імпульсу струму на напівперіоді вихідної напруги.

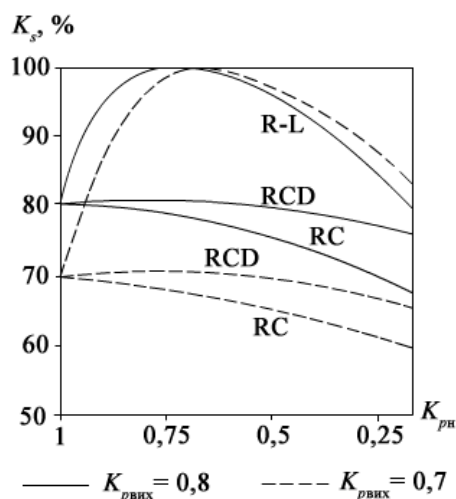


Рис. 7.10. Навантажувальні характеристики ДБЖ

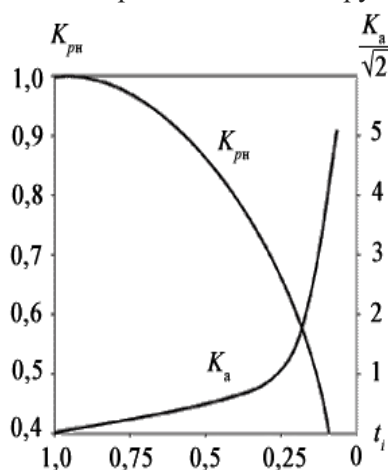


Рис. 7.11. Залежності K_p і K_a від тривалості імпульсу струму в RCD-навантаженні

При роботі ДБЖ на різноміснє навантаження за еквівалентне нелінійне навантаження приймають суму навантажень: 50 % - RL-лінійне навантаження із $K_{p_n} = 0,8$ с 50 % - RCD-навантаження - некерований випрямляч із ємністю фільтра 2,5 мкф/Вт. Коефіцієнт передачі потужності в нелінійне навантаження при струмі з коефіцієнтом амплітуди $K_a = 3$ не перевищує значення $K_s = 70-80$ %.

1.4. Перевантажувальні характеристики ДБЖ і струм короткого замикання інвертора

Розрізняють перевантажувальні здатності інвертора й кола Вурасс. При значних і тривалих перевантаженнях ДБЖ переходить у режим автоматичного Вурасс, який відрізняється великою перевантажувальною здатністю. Однак сучасні інвертори на IGBT-транзисторах із ШІМ-регулюванням так само мають досить високі перевантажувальні характеристики й значення струмів короткого замикання ($I_{кз}$), які досягають 300% номінального вихідного струму. При перевантаженнях, що не перевищують 5-10% номінальної потужності, ДБЖ можуть працювати в інверторному режимі тривалий час, не переходячи в режим автоматичного Вурасс. На рис. 7.12 наведено типові перевантажувальні характеристики ДБЖ. Слід мати на увазі, що кількісні показники наведених часово-струмових залежностей можуть відрізнятися для різних моделей ДБЖ різних виробників. Знання перевантажувальних характеристик дозволяє оптимально вибирати необхідну номінальну потужність ДБЖ для навантажень з високими пусковими струмами.

На рис. 7.12 подано припустимі області роботи ДБЖ: 1 - в інверторному режимі, 2 - у режимі автоматичного Вурасс, 3 - область відключеного ДБЖ.

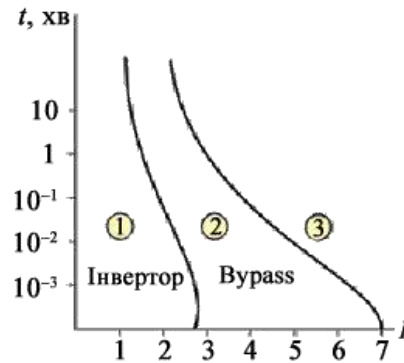


Рис. 7.12. Перевантажувальні характеристики ДБЖ

Обмеження струму інвертора в режимі перевантаження є властивістю ДБЖ при виникненні перевантажень. При зростанні струму навантаження понад номінальне значення, інвертор переходить у режим генератора струму, обмежуючи максимальне значення струму на певній величині $I_{обм}$.

Експериментально показано: для того, щоб відносна величина спотворень синусоїдальності вихідної напруги не перевищувала 5 %, необхідно встановлювати поріг обмеження максимального значення вихідного струму, яке не перевищує в 1,5 рази амплітудного значення номінального струму інвертора при лінійному навантаженні

$$I_{обм} = 1,5 \sqrt{2} I_{век.ном} \quad (7.17)$$

Відповідно, коефіцієнт амплітуди струму обмеження становитиме

$$K_{а.обм} = \frac{I_{обм}}{I_{век.ном}} = 2,12 \quad (7.18)$$

На рис. 7.13 наведено криві вихідної напруги й струму інвертора з номінальною потужністю 5 кВт за роботи на нелінійне навантаження типу RCD при різних значеннях струму навантаження.

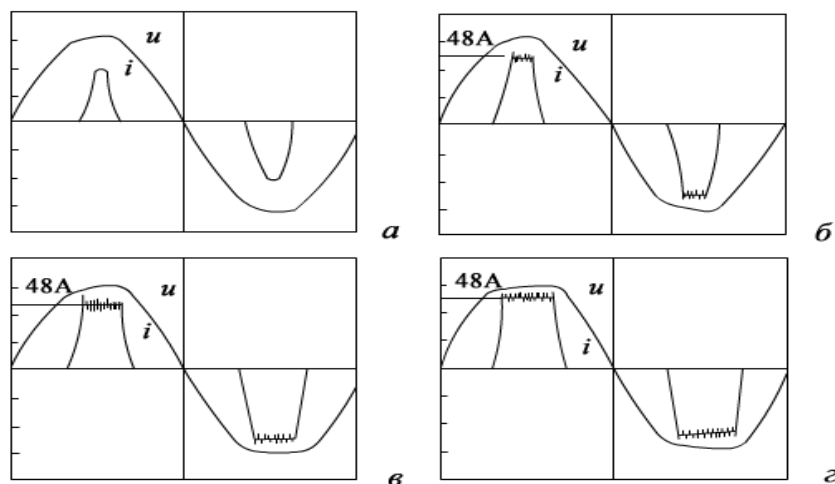


Рис. 7.13. Криві зміни напруги і струму інвертора за RCD-навантаження

Інвертор із ШІМ-регулюванням вихідної напруги здатний реагувати на зміни струму навантаження, обмежуючи його за амплітудою. При цьому відбувається збільшення тривалості імпульсу струму на напівперіоді вихідної напруги (рис. 7.13, б, в, г).

У табл. 7.6 подано електричні параметри, що характеризують режими роботи інвертора відповідно до кривих напруги й струму на рис. 7.13.

Як видно із таблиці, інвертор з номінальною потужністю 5 кВт здатний віддати 4 кВт активної потужності в RCD-навантаження зі спотворенням синусоїдальності вихідної напруги, яке не перевищує 5%. Таким чином, вихідний коефіцієнт потужності такого інвертора дорівнює $K_{p_{\text{вих}}} = 0,8$.

Таблиця 7.6. Електричні параметри, що характеризують режими роботи інвертора

Параметри	Рис. 7.13, а	Рис. 7.13, б	Рис. 7.13, в	Рис. 7.13, г
Діюче значення вихідної напруги, $U_{\text{вих}}$, В	220	220	220	220
Діюче значення вихідного струму, $I_{\text{вих}}$, А	11	20	24	29
Коефіцієнт потужності навантаження, K_{p_n}	0,61	0,69	0,79	0,82
Коефіцієнт амплітуди струму, K_a	3,6	2,4	2	1,64
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності вихідної напруги, $K_{\text{н}}$, %	2,7	3	5	10
Повна вихідна потужність, $S_{\text{вих}}$, кВт	2,4	4,4	5,2	6,3
Активна вихідна потужність, $P_{\text{вих}}$, кВт	1,5	3	4,17	5,2

7.5. Вхідні характеристики ДБЖ

Номінальна вхідна повна потужність ($S_{\text{вх.ном}}$) - повна потужність, що завантажує мережу при коефіцієнті навантаження 100% і стандартних умовах експлуатації. Розрізняють вхідну потужність, споживану при зарядженій акумуляторній батареї ($S_{\text{вх.мін}}$), і потужність при форсованому заряді батареї ($S_{\text{макс}}$), що перевищує перше значення на 25-30%, у залежності від величини ємності батареї й ступеня її разрядженості. Наприклад, для ДБЖ із номінальною вихідною потужністю 30 кВт й вхідним коефіцієнтом потужності 0,8 маємо $S_{\text{вх.мін}} = 32,8$ кВт і $S_{\text{вх.макс}} = 41$ кВт.

Номінальна вхідна активна потужність $P_{\text{вх.ном}}$ характеризує енергоспоживання по входу ДБЖ при номінальному навантаженні

$$P_{\text{вх.ном}} = K_{p_{\text{вх}}} S_{\text{вх.ном}} \quad (7.19)$$

Вхідний коефіцієнт потужності ($K_{p_{\text{вх}}}$) характеризує співвідношення між повною й активною вхідною потужністю при номінальному навантаженні й визначається виразом (7.5). Значення $K_{p_{\text{вх}}}$ для різних моделей і потужностей ДБЖ можуть змінюватися від 0,8 до 0,99. Чим більше значення $K_{p_{\text{вх}}}$, тим нижче спотворення синусоїдальності вхідного струму. При цьому вхідний опір ДБЖ для мережі буде суто активним. Найбільш високе значення $K_{p_{\text{вх}}} = 0,99$ досягнуте в ДБЖ моделі Galaxy 3000 виробництва MGE UPS Systems за рахунок використання в структурі ДБЖ коректора коефіцієнта потужності на основі двонаправленого керованого випрямляча на IGBT-транзисторах із ШІМ-регулюванням.

Максимальний вхідний струм - параметр, що визначає вибір зовнішнього автомата захисту ДБЖ. Величина максимального струму визначається при 100% коефіцієнті навантаження, мінімальній вхідній напрузі в режимі форсованого заряду батареї

$$I_{\text{вх.макс}} = \frac{S_{\text{вх.макс}}}{U_{\text{вх.мін}}} \quad (7.20)$$

7.6. Перехідні характеристики ДБЖ

У технічних даних виробників ДБЖ ці характеристики називають системними, або вхід - вихід. До них належать ККД, енергетичний коефіцієнт і часові характеристики автономної роботи ДБЖ.

ККД характеризує ефективність використання ДБЖ і дорівнює відношенню вихідної активної потужності, споживаної навантаженням, до вхідної активної потужності, споживаної ДБЖ із мережі. Втрати активної потужності (теплові втрати) в ДБЖ характеризуються низкою складових

$$\Delta P = P_{\text{вх}}; P_{\text{вих}} = \Delta P_{\text{х.х}} + \Delta P_{\text{сц}} + \Delta P_{\text{дод}}, \quad (7.21)$$

де: $\Delta P_{\text{х.х}}$ - постійна складова втрат (втрати холостого ходу ДБЖ), які не залежать від коефіцієнта навантаження й визначаються енергією, необхідною для обслуговування системи управління силовими вузлами ДБЖ, живлення вентиляторів охолодження ДБЖ та інших допоміжних блоків. Для ДБЖ малої й середньої потужності 1-10 кВт втрати холостого ходу становлять 20-30% від загальних втрат. Зі зростанням потужності ДБЖ відносна частка втрат холостого ходу знижується; $\Delta P_{\text{сц}}$ - змінна складова втрат, що залежить від коефіцієнта навантаження

$$\Delta P_{\text{сц}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4. \quad (7.22)$$

Тут ΔP_1 - втрати в силовому колі випрямляча; ΔP_2 - втрати в силовому колі коректора коефіцієнта потужності; ΔP_3 - втрати в силовому колі перетворювача постійної напруги; ΔP_4 - втрати в силовому колі інвертора.

У технічних характеристиках ДБЖ містяться значення ККД окремих силових вузлів ДБЖ (головним чином випрямляча й інвертора) і значення загального (системного) ККД ДБЖ, що становлять 85-88 % для ДБЖ малої потужності й 90-94% для ДБЖ середньої й великої потужності; $\Delta P_{\text{дод}}$ - додаткові втрати на заряд акумуляторної батареї, які можуть змінюватись у часі й залежать від ступеня розрядженості батареї та її ємності. Найбільші додаткові втрати виникають при форсованому заряджанні батареї. Наприклад, втрати при номінальному навантаженні в ДБЖ потужністю 30 кВт становлять: 2,8 кВт - при форсованому режимі заряджання батареї; 2,2кВт - при зарядженій батареї.

Часові характеристики автономної роботи ДБЖ відображають максимальний час роботи ДБЖ від акумуляторних батарей за відсутності або припустимих відхиленнях напруги мережі, залежно від коефіцієнта навантаження ДБЖ. На рис. 7.14 зображено часові характеристики для використання в ДБЖ батарей (Ач) різної енергоємності. Значне збільшення часу резерву досягається при підключенні додаткових акумуляторних модулів до ДБЖ. Слід звернути увагу на нелінійну залежність часових характеристик від величини коефіцієнта навантаження.

Енергетичний коефіцієнт визначається відношенням споживаної потужності до повної потужності, яка віддається в ДБЖ. У відповідності до (7.8), маємо

$$K_e = \eta K_p.$$

Якщо виконується умова $K_e \geq K_{pн}$, тоді ДБЖ споживає з мережі повну потужність, яка дорівнює або менша за ту, що ДБЖ віддає в навантаження

$$S_{\text{вх}} = \frac{K_{\text{рн}}}{K_e} S_{\text{вих}}. \quad (7.23)$$

Це положення поширюється на ДБЖ із високим вхідним коефіцієнтом потужності при роботі на нелінійні навантаження з низьким коефіцієнтом потужності. Це пояснюється тим, що при нелінійному навантаженні струму реактивної потужності й високочастотних гармонік струму потужності, спотворення замикаються в контурі «інвертор — навантаження» та не проявляються у вхідному колі ДБЖ.

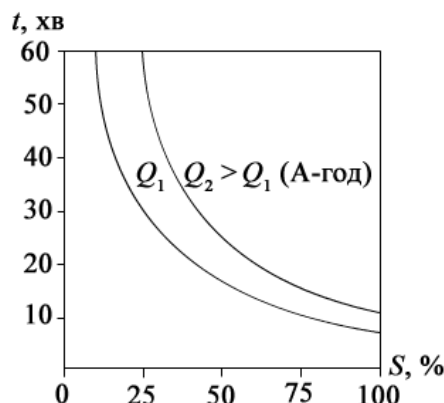


Рис. 7.14. Часові характеристики автономної роботи ДБЖ

Можна показати, що при заданому коефіцієнті потужності навантаження K_{p_n} і ККД, активна потужність на вході ДБЖ становитиме

$$P_{вх} = S_{вх} \times K_{p_n} / \eta. \quad (7.24)$$

Повна потужність на вході ДБЖ визначатиметься вхідним коефіцієнтом потужності ДБЖ

$$S_{вх} = P_{вх} / K_{p_{вх}} = S_{вх} \times K_{p_n} / K_e. \quad (7.25)$$

За умови $U_{вх} = U_{вх}$ маємо

$$I_{вх} = I_{вх} \times K_{p_n} / K_e. \quad (7.26)$$

Наприклад, для ДБЖ із $K_{p_{вх}} = 0,95$, ККД = 90 %, при роботі на нелінійне навантаження з коефіцієнтом потужності $K_{p_n} = 0,63$, зі співвідношення (7.24) маємо: $I_{вх} = 0,74 I_{вих}$.

Зменшення діючого значення вхідного струму ДБЖ щодо вихідного струму приводить до зниження завантаженості мережі, порівняно з тим випадком, коли навантаження підключене до мережі безпосередньо. Це означає менше розсіювання потужності в лінії електропередачі й понижуючому силовому трансформаторі. Оскільки втрати потужності пропорційні квадрату струму, то втрати потужності в лініях електропередачі з використанням ДБЖ у нашому прикладі складуть 54 % від втрат при живленні того самого навантаження від мережі без ДБЖ. Ця обставина особливо важлива за наявності так званих «м'яких» ліній електропередачі.

Таким чином, енергетичний коефіцієнт є одним з найважливіших показників, які визначають доцільність застосування ДБЖ з подвійним перетворенням енергії не тільки для забезпечення безперебійного електроживлення навантаження при зникненні або спотворенні напруги у мережі, але й для оптимізації енергоспоживання при навантаженнях з низьким коефіцієнтом потужності.

7.7. Електромагнітна сумісність джерел електроживлення

7.7.1. Джерела й шляхи поширення завад у РЕА

Під *електромагнітною сумісністю* (ЕМС) розуміють забезпечення умов, за яких джерело електроживлення не створює додаткових завад для роботи радіоелектронної апаратури (РЕА) при їхньому компактному взаємному розміщенні з метою зменшення масогабаритних параметрів усього пристрою.

У залежності від призначення РЕА використовуються різнотипні джерела електроживлення, які, так само як й інші генераторні пристрої, гетеродини й тактові генератори, можуть створювати завади нормальному функціонуванню радіоапаратури. Ці внутрішньо-апаратурні електромагнітні завади можуть бути кондуктивними та випромінюваними. Необхідність у компактному розміщенні деталей і вузлів пристрою призводить до підвищення проникнення завад по спеціальних колах, дротах живлення та колах заземлення. При цьому функціональні вузли з високим вхідним опором мають підвищену сприйнятливості до завад.

Традиційні способи послаблення впливу завад передбачають зменшення паразитних й індуктивних зв'язків між елементами апаратури, екранування джерел завад й окремих блоків, застосування різноманітних фільтрів тощо. Однак при сучасних методах конструювання РЕА й ЕОМ з використанням готових мікросборок БІС, БГІС й інших виробів електронної техніки забезпечення внутріапаратурної ЕМС має особливе значення. Підвищення інтеграції елементів в одиниці обсягу і, як наслідок, зменшення відстані між елементами й провідниками, застосування багатопровідних друкованих плат, зростання паразитних зв'язків, вплив перехідних процесів у колах живлення, збільшення швидкодії мікроелектронних схем, ускладнення компоновки мікросборок у приладі й інші фактори в багатьох випадках сприяють зростанню впливу внутрішніх завад і необхідності нових підходів до забезпечення внутрішньоапаратурної ЕМС. Ці нові підходи передбачають:

- створення методології конструювання мікросхем, придатних для роботи при впливі внутрішніх і зовнішніх завад;
- розроблення методів розрахунку й способів ослаблення завад на пристрої, виконані на мікросхемах з урахуванням їхніх зовнішніх з'єднань (монтажних провідників);
- розроблення методів і способів вимірювання параметрів, які характеризують ЕМС пристроїв, виконаних на мікросхемах, у тому числі з урахуванням можливого впливу потужних імпульсів від зовнішнього джерела.

На етапі проектування блоків і пристроїв необхідно виявляти мікросхеми й мікросборки, сприйнятливі до завад по колах живлення та по входу. Це особливо важливо для пристроїв швидкодіючої цифрової обробки сигналів. Наприклад, при використанні нано- і пікосекундних імпульсів необхідно враховувати хвильові процеси, для яких невеликі відрізки провідників виявляються довгими лініями.

Традиційна практика конструювання друкованих плат, заснована на топологічних принципах, має бути доповнена розрахунками рівнів завад, що виникають у колах передачі сигналів через неузгодженість хвильового опору лінії й навантаження, та заходами щодо їх зменшення.

Внутрішньоапаратні завади найчастіше виявляються через магнітну складову ближнього поля. При цьому важливого значення набуває вибір типу з'єднувальних кабелів і місць заземлення їхніх екранів. Для аналізу цих полів необхідно використовувати досить складні електродинамічні моделі.

7.7.2. Способи захисту апаратури від завад джерел живлення

Основним способом придушення кондуктивних завад, які створюються ДЖ, є застосування завадопоглинаючих фільтрів (ЗПФ). Принцип дії таких фільтрів заснований на відбитті електромагнітної енергії від реактивних елементів і поглинанні енергії у феромагнітних сердечниках і діелектрику конденсаторів. Однак ці фільтри не повинні вносити істотних втрат енергії корисних сигналів і сигналів керування, а також у колі живлення.

ЗПФ вмикають якнайближче до джерела завади (ДЗ) на шляху її поширення до навантаження (рис. 7.15).

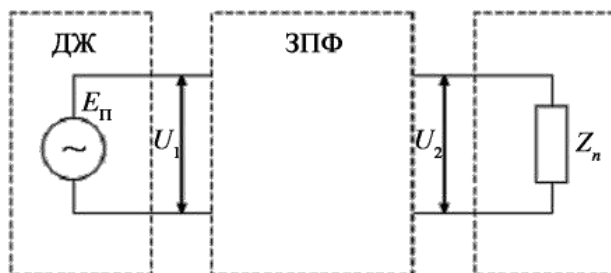


Рис. 7.15. Схема підключення ЗПФ

Ефективність фільтра характеризується параметром $A_{\text{вн}} = (U_1 - U_2)$ [дБ] (U_1 - напруга завади до фільтра, U_2 - напруга після фільтра), що виражає ступінь ослаблення завад. Величина $A_{\text{вн}}$ залежить від схеми фільтра й може досягати 10...20 дБ для найпростішого ємнісного фільтра або 60...100 дБ для складного багатоланкового фільтра.

У ЗПФ використовуються конденсатори й дроселі особливої конструкції, яка відрізняється від звичайних низькочастотних елементів фільтрів в ДЖ тим, що в широкій смузі частот, де можливі завади (зокрема ті, що виникають у тиристорних і транзисторних перетворювачах та імпульсних стабілізаторах напруги), вони зберігають незмінними величину та характер свого опору: ємнісний (завадопоглинаючий конденсатор) або індуктивний (завадопоглинаючий дросель).

Зниженню рівня завад сприяє використання певних практичних заходів завадозахисту: скручування монтажних дротів, застосування екранів й антикорозійних покриттів.

Перспективним є також застосування завадопоглинаючих екранованих кабелів, особливо в колах живлення РЕА й ЕОМ. Ці кабелі складаються з великої кількості струмопровідних жил, оповитих феромагнітним дротом. При цьому ізоляція виготовляється зі спеціального композиційного матеріалу, який має високі поглинаючі властивості. На рис. 7.16 показано типову залежність від частоти загасання завади на 1 м зазначеного кабелю.

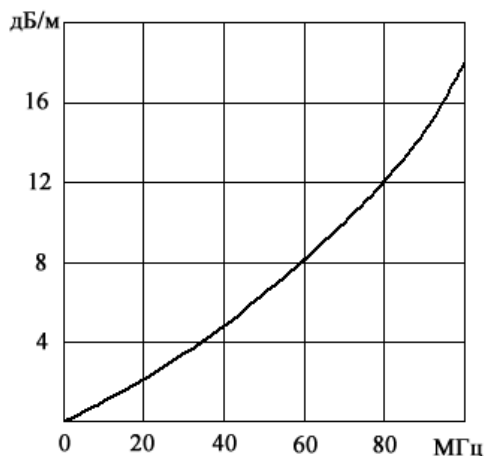


Рис. 7.16. Частотна залежність загасання у завадопоглинаючому кабелі на 1 м довжини

7.8. Перспективи розвитку електроживлення ТКС

Перспективи розвитку систем і пристроїв електроживлення в телекомунікаційній сфері пов'язані як з тенденціями розвитку самої галузі телекомунікаційних послуг та вдосконалюванням її технологій (у тому числі зниженням електроспоживання засобами телекомунікацій), так і з прогресом у технології перетворення параметрів електричної енергії й удосконалюванням способів її резервування й забезпечення надійності систем. До сучасних ДЕЖ телекомунікаційних систем висуваються такі вимоги:

- високі значення показників ефективності і надійності (ККД 0,92—0,95, фактор потужності не менше 0,95);
- час відновлення при відмовах не більше половини часу гарантованого енергопостачання від вбудованих акумуляторних батарей;
- можливість роботи при відключенні акумуляторної батареї під час проведення регламентних робіт;
- «глибокий» моніторинг з метою отримання інформації щодо стану обладнання електроживлення, у тому числі про ступінь розряджання або зношування акумуляторної батареї.

Світова практика визначила низку загальних принципів для реалізації вищезазначених вимог:

- модульність побудови перетворювачів напруги мережі живлення;
- резервування мережевих перетворювачів за принципом $(M + 1)$;
- імпульсний метод перетворення параметрів електричної енергії з використанням принципів «м'якої» комутації силових ключів;
- ввімкнення у схеми первинних перетворювачів електроенергії активних фільтрів струму мережі;
- формування зовнішніх характеристик перетворювачів виду I-U-I (стабілізація струму, напруги, обмеження струму) з температурною корекцією напруги «заряджання» герметичних акумуляторних батарей для організації «плаваючого» режиму підзаряджання;
- активне тестування акумуляторної батареї;
- повна відмова від елементів релейної автоматики й перехід на електронну комутацію за допомогою транзисторних ключів.

У перспективі перехід на височастотні імпульсні технології перетворення параметрів енергії дозволить зняти проблему cos ϕ , однак ресурс існуючого парку випрямних пристроїв ще досить великий.

Перспективним є також використання активних фільтрів струму мережі, що відіграють роль буфера, який автоматично адаптується до умов енергоспоживання, й компенсатора, який забезпечує компенсацію реактивної потужності та потужності спотворень. За функціональними можливостями такі активні фільтри здатні регулювати рівень вихідної напруги, тобто відігравати роль передрегуляторів, аналогічних відомим дельта-перетворювачам.