

УДК 621.314:629.503-83

**Перспективні напрямки розвитку систем електроживлення безлюдних телекерованих підводних апаратів**

**Автори:** Блінцов В.С., Костенко Д.В, Жук О.К., Жук Д.О., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Однією з важливих науково-практичних задач, пов'язаних з інтенсивним освоєнням ресурсів Світового океану, є виконання робіт, спрямованих на дослідження його донної поверхні. Основними технічними засобами для виконання відповідних робіт безпосередньо на дні моря (водоймищ) є безлюдні телекеровані підводні апарати (БТПА) зі спеціалізованим технічним обладнанням і системами відеоспостереження.

БТПА представляють собою складні технічні об'єкти з високим ступенем інтеграції електромеханічних, електронних і телекомунікаційних складових, робота яких у багатому залежить від систем електрозабезпечення, виконаних за схемою «судно носій – кабель-трос – підводний апарат».

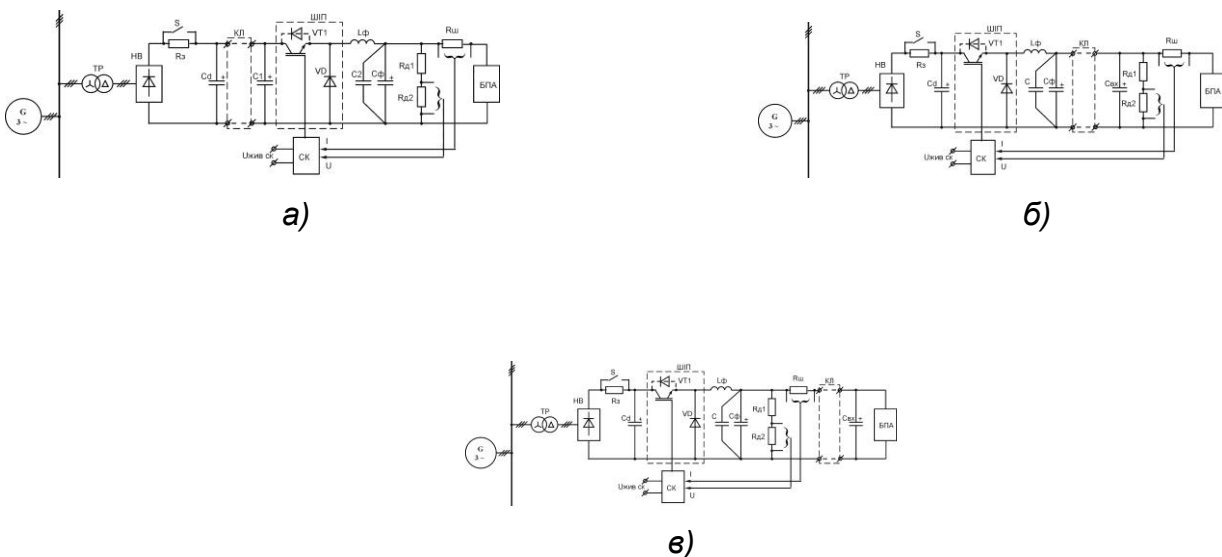


Рис.1 Схеми електричні принципи варіантів системи електроживлення БТПА

Електричне живлення БТПА по кабель-тросу (КТ) зазвичай здійснюється на змінному струмі.

Виходячи із міркувань спрощення конструкції і здешевлення КТ можна запропонувати реалізацію систем електроживлення БТПА на постійному струмі. Крім того, таке рішення дозволяє виключити вплив власних параметрів КТ (ємнісні провідності «фаза-фаза» та «фаза-корпус») на характер електромагнітних процесів і зниження показників якості електроенергії та електромагнітної сумісності (ЯЕ та ЕМС) при роботі відносно потужних гребних напівпровідникових електроприводів у складі БТПА [1].

Фізична реалізація електричного зв'язку «судно-носій – БТПА» на постійному струмі можлива з подальшим перетворенням параметрів електроенергії струму на боці підводного апарату (у разі використання на апараті гребного електроприводу змінного струму) або без подальшого перетворення роду струму на боці підводного апарату (у разі наявності гребного електроприводу постійного струму).

Перший варіант є достатньо складними та коштовними у реалізації. Другий представляє достатньо великий інтерес, враховуючи наявність сучасних спеціалізованих для БТПА маршових і підрулюючих пристроїв з безщітковими двигунами, які живляться постійним струмом і виконані у вигляді механотронних виробів, наприклад SPвисоЕ-380, SPE-250 фірми Sub-Atlantic.

Відповідно з другим варіантом електричне живлення БТПА може здійснюватися за схемою «електроенергетична система змінного струму судна носія – некерований випрямляч – широтно-імпульсний перетворювач (НВ – ШІП)». Використання ШІП забезпечує стабілізацію напруги на навантаженні БТПА у всіх експлуатаційних режимах за рахунок компенсації спаду напруги на кабелі живлення (КТ) БТПА і на випрямлячі з ємнісним фільтром. Система НВ-ШІП також може використовуватися для живлення асинхронних електроприводів змінного струму з автономними інверторами напруги (АІН), які розміщені на борту БТПА. "

Можливі варіанти реалізації схеми електроживлення БТПА з використанням системи НВ-ШІП наведено на рис.1, а–в. В схемах рис.1,а-б прийнято наступні позначення: G – генератор, НВ – некерований випрямляч, ТР – трансформатор живлення НВ, S – ключ,  $R_{\zeta}$  – зарядний опір,  $\tilde{N}_d, C_1$  – згладжуючі ємності, КЛ – кабельна лінія, VT – силовий транзистор у складі ШІП [3], VD – зворотній діод у складі ШІП,  $\tilde{N}_2, C$  – ємність фільтра височастотних (ВЧ) складових,

$\tilde{N}_\phi, L_\phi$  – ємність та індуктивність Г-подібного фільтру на виході ШІП,  $R_{\tilde{A}1}, R_{\tilde{A}2}$  – опори діляника напруги,  $R_\phi$  – опір шунта, СК – система керування ШІП.

Схема (рис.1,а) передбачає безпосереднє підключення КЛ до НВ через фільтр  $C_d$ . На вхід БТПА через КЛ подається напруга з виходу схеми «ТР – НВ – ємнісний фільтр», яка розміщена на судні-носії. ШІП з вхідним ємнісним і вихідним Г-подібним індуктивно-ємнісним фільтрами, а також датчиками напруги і струму навантаження розміщується на борту БТПА. Схеми (рис.1,б,в) передбачають розміщення силової частини системи електроживлення (ТР, НВ, ШІП і фільтри) на судні-носії. Вони відрізняються розміщенням датчиків зворотних зв'язків: на (рис.1,б) датчики струму і напруги розміщені на борту БТПА, а на (рис.1,в) датчик струму навантаження і напруги на вході КЛ знаходиться на борту судна-носія.

Недоліком схеми (рис.1,а) є розміщення додаткового силового обладнання стабілізатора і фільтрів на борту БПА, що призводить до погіршення його масогабаритних характеристик. В схемах (рис1,б,в) даний недолік виключено, однак схема (рис1,б) потребує наявності додаткових каналів передачі сигналів зворотного зв'язку (ЗЗ) по КЛ, а також апаратури перетворення даних сигналів як на боці БТПА, так і судна-носія. В схемі рис1,в наявність додаткових інформаційних каналів і перетворювачів сигналів не потребується, так як датчики ЗЗ знаходяться у складі системи керування ШІП, розміщеної на борту судна-носія. При цьому врахування спаду напруги на КЛ з фіксованим опором здійснюється системою керування.

Порівняльний аналіз схем дозволяє зробити висновок, що схема рис1,в має найбільші переваги та може бути прийнята за основу реальної системи електроживлення БПА.

Розроблена методика розрахунку складових системи електрозабезпечення БТПА, що необхідна на етапі її проектування

**Трансформатор і фільтр.** Напруга на виході НВ (вхід КЛ) визначається рівнянням  $U_f = U_{d0} - \Delta U_{\hat{I}\hat{A}} - \Delta U_{\hat{E}\hat{E}}$ , де  $U_f$  – номінальна напруга на навантаженні (вхід БПА);  $\Delta U_{\hat{I}\hat{A}}$  – спад напруги на випрямлячі з ємнісним фільтром;  $\Delta U_{\hat{E}\hat{E}}$  – спад напруги на КЛ.

З [2] при номінальному навантаженні НВ та співвідношенні потужностей НВ і синхронного генератора  $b = P_{\hat{I}\hat{A}} / P_{\tilde{N}\tilde{A}}$ ,  $\Delta U_{\hat{I}\hat{A}} = 0,08U_{d0}$ .

Спад напруги на КЛ при номінальному струмі навантаження  $I_f = P_f / U_f$  дорівнює  $\Delta U_{\hat{E}\hat{E}} = R_{\hat{E}\hat{E}} I_f$ , де  $R_{\hat{E}\hat{E}} = 2\rho \frac{l_{\hat{E}\hat{E}}}{S}$  – активний опір кабелю;  $\rho$  – розподілений опір кабелю;  $l_{\hat{E}\hat{E}}$  – довжина кабельної лінії;  $S$  - поперечний переріз жили кабелю.

Лінійна напруга вторинній обмотці підвищувального трансформатора (при трифазній мостовій схемі випрямлення)  $U_{\hat{E}2} = U_{d0} / k_c$ , де  $k_c = \sqrt{2}$  – коефіцієнт схеми НВ з ємнісним фільтром.

Коефіцієнт трансформації трансформатора  $K_{\hat{O}D} = U_{\hat{E}1} / U_{\hat{E}2}$ , де  $U_{\hat{E}1}$  – лінійна напруга первинної обмотки трансформатора.

Розрахункове значення шпаруватості ШІП  $\gamma = U_f / U_{d0}$ . Припустиме значення амплітуди  $v$ -ї гармоніки у складі вихідної напруги навантаження  $U_{i v}^*$  приймається рівним половині припустимого розмаху пульсацій

Порядок власної частоти фільтра становить  $v_0 < v / \sqrt{K_{\hat{O}}}$ .

Власна частота фільтра (рис.2) становить  $f_0 = v_0 f$ .

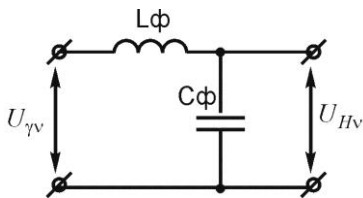


Рис. 2

Основну розрахункову величину Г-подібного LC фільтру визначається добутком  $L_{\hat{O}} C_{\hat{O}}$ , отже  $L_{\hat{O}} C_{\hat{O}} \geq \left( \frac{1}{v_0 \omega} \right)^2$ .

Подальший розрахунок зводиться до оптимізаційної задачі з реалізації величини  $L_{\hat{O}} C_{\hat{O}}$ .

**Вентилі випрямляча та неререверсивного ШІП регулятора (без запасу).** Схема неререверсивного ШІП наведена на рис.3. Випрямлений струм НВ та середній струм діода становлять відповідно  $I_{d0} = I_f$  і  $I_{\hat{n}\hat{d}\hat{A}\hat{A}} = I_{d0} / 3$ , а зворотна напруга діода НВ дорівнює

$$U_{\hat{c}\hat{a}\hat{m}\hat{a}\hat{A}\hat{A}} = \sqrt{2} U_{\hat{E}2}.$$

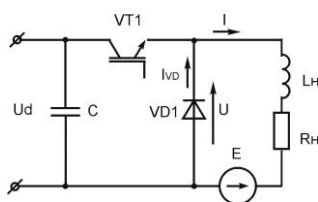


Рис.3

Максимальне значення середнього струму транзистора ШІП можна прийняти рівним максимальному значенню імпульсного струму  $I_{\hat{O}D} = I_{\hat{O}D}^* = I_f$ . Напруга на закритому транзисторі ШІП  $U_{\hat{O}D} = U_{d0}$ .

Максимальне значення середнього та імпульсного струму зворотного діоду ШІП -  
 $I_{\bar{v}d} \approx I_f (1 - \gamma)$ ,  $I_{\bar{v}i} \approx I_f$ .

Максимальна зворотна напруга на діоді ШІП -  $U_{\zeta\hat{a} \max} \approx U_{d0}$ .

**Реверсивний ШІП у складі електроприводу МД.** Схема ШІП наведена на рис.4.  
 Середнє значення прямого струму керованих клапанів та зворотних діодів -  $I_{\hat{a} \bar{v}d} = P_{\hat{A}} / U_f$ ,  
 $I_{\zeta\hat{a} \bar{v}d} = I_{\hat{a} \bar{v}d}$ .

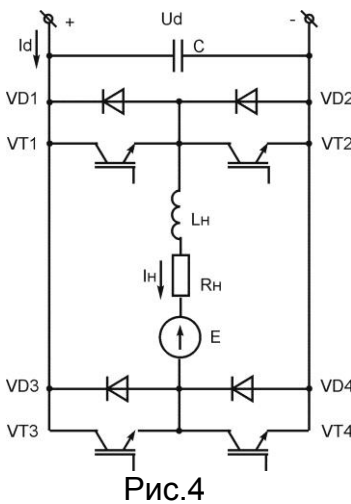


Рис.4

Пряма і напруга керованих клапанів і зворотна напруга зворотних діодів -  $U_{\hat{a} \zeta\hat{a}} = U_f$ ,  $U_{\zeta\hat{a} \zeta\hat{a}} = U_f$ . Максимальна амплітуда  $v$ -ї гармоніки вихідної напруги ШІП відповідає шпаруватості  $\gamma = 0,5$  і становить  $U_{\gamma v \max} = \frac{2}{\pi} U_f$  при однополярній модуляції та  $U_{\gamma v \max} = \frac{4}{\pi} U_f$  при двополярній модуляції. Припустимо максимальне значення амплітуди пульсацій якорного струму електропривода МД приймаємо рівним 5% від номінального струму, тобто  $I_{\gamma v \max} = 0,05 \cdot I_f$ .

Власна індуктивність якорної обмотки приводного двигуна  $L_{\gamma} = \frac{k_A U_{\hat{m}}}{p_i \omega_{\hat{m}} I_{d\hat{m}}}$ , індуктивність

додаткового згладжуючого дроселя  $L_{\hat{A}D} = \frac{U_{\gamma v \max}}{0,05 I_f \nu \omega} - L_{\beta}$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Блінцов В.С., Жук О.К., Жук Д.О., Костенко Д.В. Забезпечення електромагнітної сумісності елементів електричної системи підводного апарата „Агент-1”. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. К.: 2006 – С. 112 – 115.
- Жук А.К. Искажения входных напряжений и токов и коэффициент мощности преобразователей частоты. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. К.: 2008.- С.69-75.
- Чижено І.М., Руденко В.С., Сенько В.І. Основы преобразовательной техники. – М.: Высш. школа, 1974. – 430 с.