

## Лекція 12. Загальні принципи побудови імпульсних джерел електроживлення

### 1. Призначення, класифікація та узагальнена структурна схема ІДЖ

Найбільш істотним недоліком лінійних джерел живлення є значні маса і габарити, через наявність мережевого трансформатора і згладжувального фільтра, розрахованого на придушення низькочастотних складових. З метою зниження маси і габаритів останнім часом знаходять широке застосування джерела живлення, виконані по так званій безтрансформаторній схемі.

Поділ ІДЖ за методами регулювання напруги дозволяє побудувати для них класифікаційну схему (рис. 12.1). Зі схеми видно, що після початкового грубого, ділення на лінійні і імпульсні ДЖ, останні в свою чергу поділяються на велике число різновидів. У схемах резонансних перетворювачів частота перемикання змінюється, в той час як схеми з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) працюють з постійною частотою і змінним коефіцієнтом заповнення. ШІМ- схеми далі поділяються на схеми, побудовані на основі понижуючого і підвищувального регуляторів.

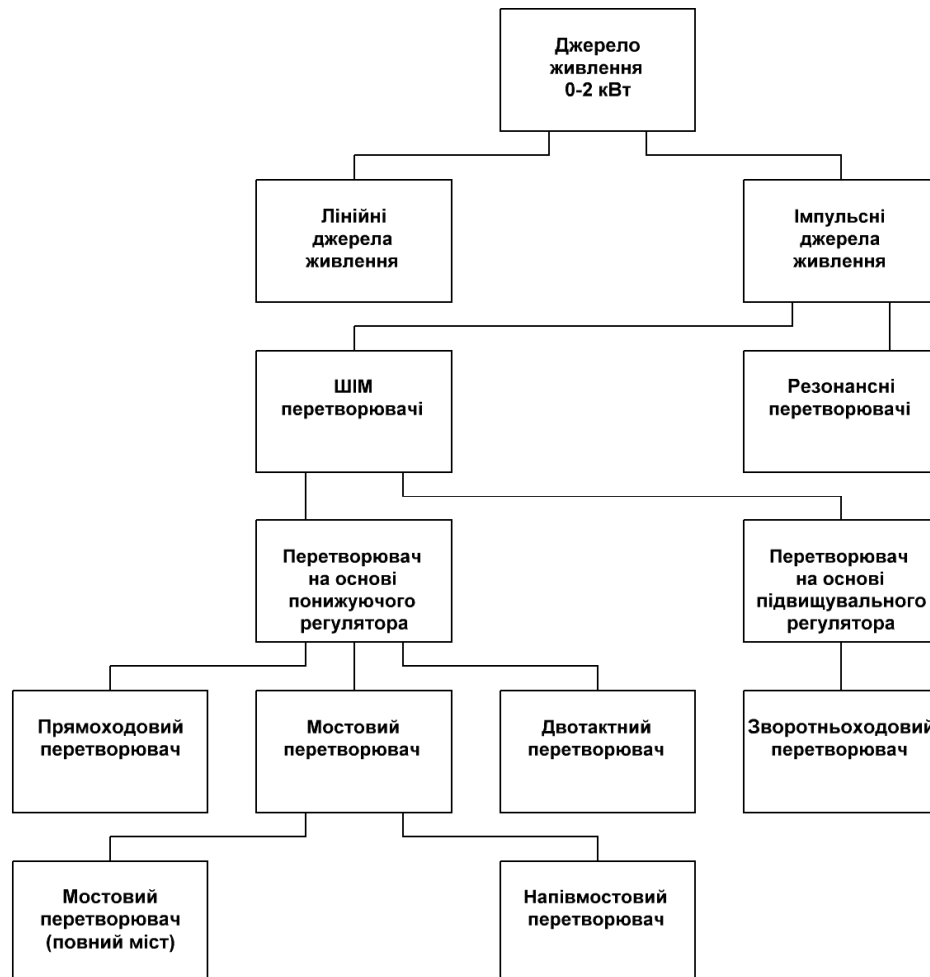


Рис.12.1 – Класифікаційна схема типів ІДЖ

Розробники ДЖ дотримуються практичного правила, згідно з яким:

- зворотньоходові перетворювачі (на основі інвертуючого регулятора) є оптимальними для малопотужних ДЖ - від 20 до 100 Вт;
- прямоходові перетворювачі (на основі понижуючого регулятора) добре працюють при середніх рівнях вихідній потужності - від 100 до 400 Вт;
- при високих потужностях - від 500 до 2000 Вт - слід використовувати напівмостові або мостові схеми.

Певною мірою ці правила відображають особливості схем. Так, в схемах перетворювачів (наприклад, мостових), в яких два транзистора поперемінно комутують навантаження, компоненти використовуються більш ефективно, ніж в схемах з одним транзистором. Однак ці правила не є непорушними. Наприклад, є фірми які випускають прямоходові перетворювачі, що працюють в кіловатному діапазоні.

У будь-якому паспорті на ДЖ однією з перших позицій вказано ККД. Саме за цим показником найбільшою мірою різняться схеми з лінійної і імпульсної стабілізацією. Звичайно, ідеальним буде ККД 100%, а значення, яке буде добрим або хоча б прийнятним, залежить від конструкції і області застосування.

Наприклад, для живлення медичних і точних лабораторних приладів часто потрібні добре стабілізовані напруги з дуже малими пульсаціями. Для таких застосувань, ймовірно, найбільш підходящим буде лінійне ДЖ – однак через наявність принципово необхідних тепловиділяючих елементів таке джерело характеризується більш низьким ККД в порівнянні зі своїм конкурентом - імпульсним ДЖ.

Під інвертуванням в електротехнічній техніці мають на увазі перетворення енергії постійного струму в енергію змінного струму. Пристрої, які здійснюють такі перетворення, називають **інверторами**

В телекомунікаційної апаратурі інвертори виконують такі функції:

- отримання потрібної кількості джерел змінної напруги потрібного рівня, форми та частоти;
- електрична ізоляція (гальванічна розв'язка) вихідних кіл одне від одного і від мережі вхідного струму;
- регулювання вихідної напруги малопотужними сигналами керування.

Інвертори можуть бути **одно-** та **багатоканальними**. Формують **одно-**, **дво-** та **трифазні** напруги синусоїдальної або іншої форми.

За способом керування силовими транзисторами інвертори поділяють на **інвертори з зовнішнім збудженням і самозбудженням**. Останні з радіотехнічної точки зору є автогенераторами, а інвертори із зовнішнім збудженням – підсилювачами потужності.

За схемотехнікою побудови інвертори ділять на **однотактні** та **двотактні**. Таку ж назву отримали і перетворювачі напруги, в яких використовують інвертори. Тому роботу інверторів будемо розглядати разом з аналізом роботи **перетворювачів**.

**Перетворювачем постійної напруги** називають таке вторинне джерело живлення, яке, споживаючи постійний струм при одній напрузі, створює постійний вихідний струм при іншій напрузі.

Перетворювач має, як правило, декілька виходів з різною напругою. Він може виконувати функції регулювання та стабілізації напруги (струму).

До перетворювачів відносять і розглянуті у попередньому розділі **імпульсні стабілізатори**. Вони отримали назву безпосередніх перетворювачів, оскільки виконують свої функції при одноразовому перетворенні електричної енергії. Області їх використання обмежені через наявність гальванічного зв'язку між джерелом енергії та навантаженням і відсутність змоги отримати декілька ізольованих одне від одного джерел постійного струму.

Розглянемо функціональну схему типового імпульсного стабілізованого джерела електричного живлення (рис.12.1). Такі джерела використовують у багатьох сучасних телекомунікаційних системах і пристроях.

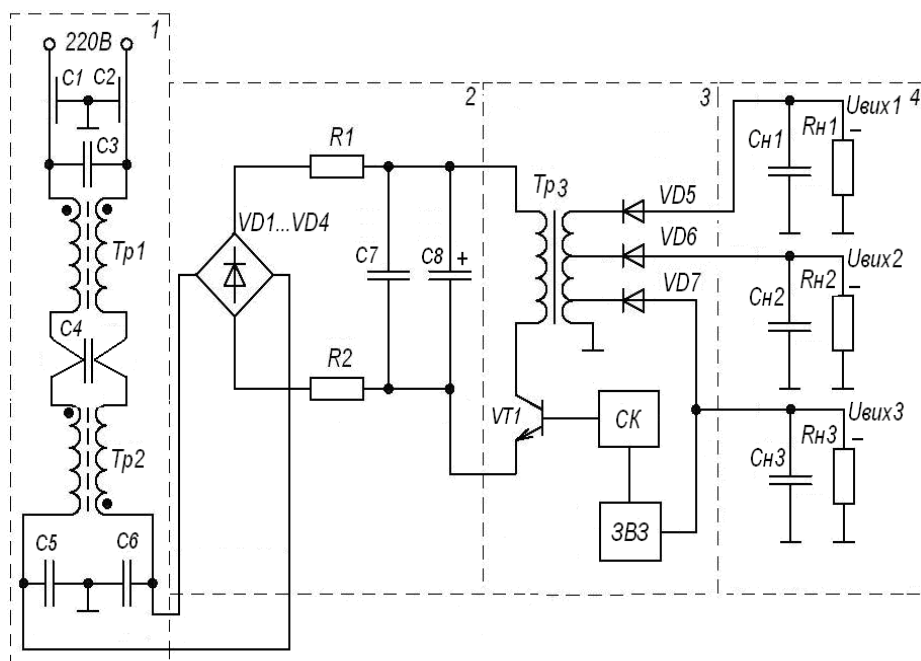


Рисунок 12.1 – Функціональна схема імпульсного джерела електроживлення

До складу ІДЖ входять такі функціональні вузли:

1 – **вхідний фільтр**, призначенням якого є зменшення рівня завад, що потрапляють до джерела з мережі і навпаки;

2 – **мережний випрямляч** (мостовий однофазний випрямляч  $VD1...VD4$  та конденсатори ємнісного фільтра  $C7, C8$ );

3 – **імпульсний перетворювач напруги** зі схемою керування. Якщо одну з обмоток трансформатора  $Tr3$  підімкнути до навантаження без випрямляча, то коло мережний випрямляч 2 – імпульсний перетворювач 3 буде являти собою інвертор.

4 – **кола навантаження**.

Вхідною напругою для джерела живлення може бути змінна напруга 220 (110, 127) В електричної мережі. Вихідні джерела можуть мати взаємну гальванічну розв'язку і гальванічно розв'язані зі вхідною мережею.

Вхідний фільтр зменшує рівень **симетричних і несиметричних мережних завад**. Струм симетричної завади розповсюджується від джерела завади по одному мережному проводу, а повертається по іншому. Струм несиметричної завади розповсюджується одночасно по обох проводах мережі і, проходячи в землю через паразитну ємність джерела живлення, повертається по ній до джерела завади, в якого корпус з'єднаний з землею.

Трансформатор  $Tr1$  пригнічує несиметричні, а трансформатор  $Tr2$  – симетричні завади. Послаблення відбувається завдяки трансформуванню струмів з однієї обмотки в іншу і відповідному увімкненню обмоток. В результаті завади взаємно компенсуються. Конденсатори  $C1, C2$  – прохідні, конденсатор  $C4$  – безвивідний, що забезпечує йому малу паразитну індуктивність.

Резистори  $R1, R2$  (одиниці Ом) обмежують струм заряду конденсаторів фільтра  $C7, C8$ . Конденсатор  $C7$  – безіндуктивний,  $C8$  – електролітичний, великої ємності.

Частоту коливань **інвертора** (транзистор  $VT1$ , трансформатор  $Tr3$ , схема керування  $CK$ , схема зворотного зв'язку  $ЗВЗ$ ) вибирають по можливості більшою (0,03...1 МГц), що сприяє зменшенню розмірів та маси трансформатора і фільтра.

## 2.Зворотньоходові і прямоходові ІДЖ

### 2.1.Однотактний прямоходового перетворювач

Вивчимо принципову схему однотактного однофазного прямоходового перетворювача (рис. 12.2), яку за кордоном називають «forward».

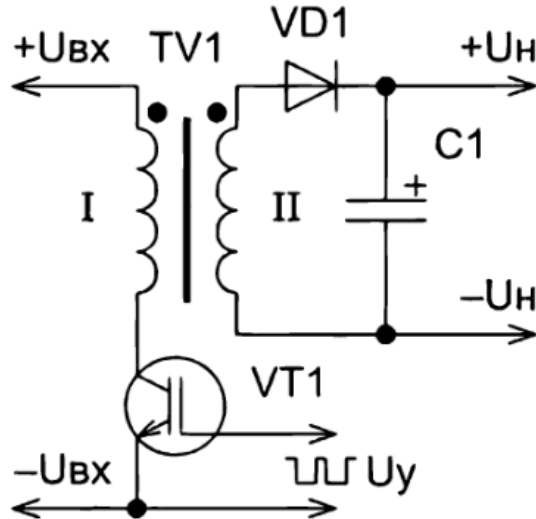


Рис.12.2– Однотактний однофазний прямоходовий перетворювач

Нехай протягом прямого ходу ключовий транзистор **VT1** відкритий, через первинну обмотку трансформатора **TV1** протікає струм, що створює магнітне поле в осерді. На вторинній обмотці наводиться напруга, яка підведена до навантаження, випрямляючого діода **VD1** і згладжуючого конденсатор **C1**. Через навантаження протягом прямого ходу протікає струм. Протягом зворотного ходу полярність напруги на вторинній обмотці трансформатора **TV1** стає протилежною. При цьому випрямний діод **VD1** закритий, і струм через навантаження забезпечує конденсатор **C1**.

Для того щоб знизити залишкову індукцію і вберегти магнітопровід однотактного прямоходового перетворювача від заходу петлі гістерезису в область насичення, в ньому на шляху магнітного потоку зазвичай створюють немагнітний зазор. Якщо цього заходу буде недостатньо або введення зазору неприпустимо через зниження магнітної проникності, на магнітопроводі можна укласти додаткову обмотку рекуперації, підключену до джерела живлення перетворювача через діод, завдяки чому протягом зворотного ходу енергія, запасені в магнітному полі, повернеться в джерело живлення.

На виводах втік-витік або колектор-емітер ключового транзистора однотактного прямоходового перетворювача під час роботи виникають імпульси напруги прямокутної форми. Імпульси струму, що протікають через первинну обмотку трансформатора, мають форму прямокутної трапеції, причому амплітуда струму плавно зростає від фронту до спаду імпульсу. Форму можна уявити як прямокутник, на який помістили прямокутний трикутник. Таку ж форму мають імпульси струму, що протікають по первинним обмоткам двотактних напівмостових, мостових і push-pull перетворювачів.

Однотактні прямоходові перетворювачі володіють потужністю приблизно від одиниць ват до кіловата.

Однотактний прямоходового перетворювачі володіють потужністю приблизно від одиниць ват до кіловата.

#### Їх переваги:

- наявність всього одного ключового транзистора;

– магнітопровід імпульсного трансформатора має менші габарити, ніж магнітопровід трансформатора однотактного зворотньоходового перетворювача за інших однакових умов експлуатації і близьких режимах роботи.

**Недоліком** однотактного прямоходового перетворювача є підмагнічування осердя трансформатора, яке викликане несиметричним циклом перемагнічування петлі гістерезису. Через це ККД такого перетворювача зазвичай менше, ніж у двотактних перетворювачів з симетричним перемагнічуванням імпульсного трансформатора.

Принципова неможливість використання ефективних систем симетрування в однотактний перетворювачах є недоліком. Граничну петлю гістерезису магнітопроводу однотактного прямоходового перетворювача використовують менше ніж наполовину. Частота пульсації вихідної напруги дорівнює частоті перетворення. Якщо трапиться перевантаження по струму в навантаженні, компоненти однотактного прямоходового перетворювача може врятувати тільки швидкодіюча система захисту, в іншому випадку вони будуть виведені з ладу.

До закритого ключовому транзистору прикладена подвоєна напруга живлення перетворювача і напруга індуктивного викиду, що накладає певне обмеження на вибір компонента.

## 2.2. Однотактний зворотньоходовий перетворювач

Розглянемо принципову схему однотактного однофазного зворотньоходового перетворювача, або, як його називають в іноземній літературі, "flyback", зображену на рис.12.3.

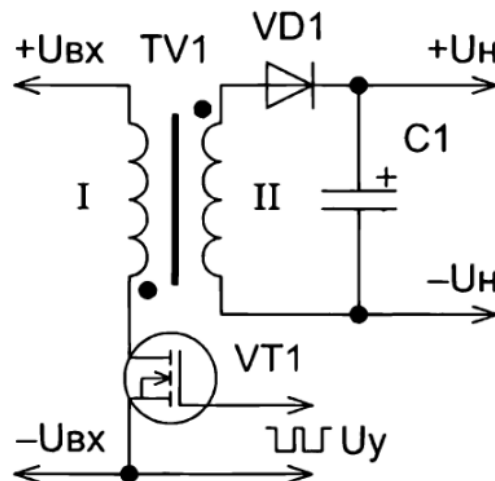


Рис.12.3– Однотактний однофазний зворотньоходовий перетворювач

Як бачимо, відмінність цієї схеми від принципової схеми однотактного прямоходового перетворювача полягає в іншій фазировці обмоток імпульсного трансформатора. Протягом прямого ходу діод **VD1** вихідного випрямляча практично не проводить електричний струм, і енергія не надходить в навантаження, а запасється в магнітному полі трансформатора **TV1**, як в дроселі. При зворотньому ході ключовий транзистор **VT1** закритий, випрямний діод **VD1** відкритий, а енергія, яка накопичена в магнітному полі, витрачається на живлення навантаження.

У магнітопровід однотактного зворотньоходового перетворювача зазвичай вводять зазор для зменшення залишкової індукції з метою недопущення насичення феромагнетика. Граничну петлю гістерезису однотактного зворотньоходового перетворювача використовують менш ніж наполовину, через що великі габарити магнітопроводів трансформаторів. Якщо навантаження до **ІДЖ** не підключено, то вихідна напруга може стати неприпустимо високим, що здатне вивести з ладу компоненти джерела живлення. Для того щоб зворотньоходовий **ІЖД** могло бути включене без

номінального навантаження, всередині нього розміщують навантаження, що не відключається, на якій розсіюється незначна потужність.

Напруга на навантаженні вторинної обмотки трансформатора однотактного перетворювача можна знайти за формулою:

$$U_H = U_{ВХ} \cdot \left(\frac{W_2}{W_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{\xi}\right),$$

де  $U_{ВХ}$  – вхідна напруга, В;

$W_1$  – число витків первинної обмотки;

$W_2$  – число витків вторинної обмотки;

$\xi$  – шпаруватість імпульсів.

Напруга, що прикладається до виводів втік-витік або колектор-емітер замкненого ключового транзистора, становить:

$$U_{ке} = U_{ВХ} + \left(\frac{W_2}{W_1}\right) \cdot U_H,$$

Форма імпульсів напруги на ключовому транзисторі – прямокутна зі сходиною; форма імпульсів струму, що протікають через первинну обмотку, - трикутна.

Однотактні зворотньоходові перетворювачі використовують при потужності, що віддається в навантаження приблизно від одиниць ват до сотень ват.

**Переваги** однотактного зворотньоходового перетворювача:

- наявність одного ключового транзистора;
- відсутність руйнування компонентів ІДЖ при перевантаженні по струму в навантаженні.

**До недоліків** відносять:

- підмагнічування осердя імпульсного трансформатора;
- відсутність можливості застосування систем симетрування перемагнічування;
- наявність більшого магнітопровіду трансформатора, ніж в аналогічному однотактному прямоходовому перетворювачі.

Частота пульсації вихідної напруги дорівнює частоті перетворення. Напруга на закритому транзисторі практично досягає суми вихідної напруги, помноженого на величину, зворотню коефіцієнту трансформації, і напрузі живлення перетворювача.