

УДК 621.3

Петровка М.–ст. гр. ЕТмз-62

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПОВЕДІНКА СВІТЛОДІОДІВ ПРИ МАЛОМУ ЗМІННОМУ СИГНАЛІ

Науковий керівник: д.т.н., професор Андрійчук В. А.

Petrovka M.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

BEHAVIOR OF LIGHT-LEDS AT A SMALL ALTERNATING SIGNAL

Supervisor: V. Andriychuk

Ключові слова: р-п перехід, дифузійна ємність

Keywords: p-n junction, diffusion capacitance

Світлодіоди являють собою напівпровідникові прилади з р-п-переходом, які ефективно перетворюють електричну енергію на некогерентне оптичне випромінювання. В основі їхньої роботи лежить явище рекомбінації – випромінювання фотонів при зустрічі електронів з зони провідності та дірок з валентної зони в області р-п-переходу. Для досягнення інтенсивного випромінювання необхідно створити високу концентрацію як електронів, так і дірок в безпосередній близькості від переходу, що забезпечується при прямому зміщенні р-п-переходу.

При прямому зміщенні зовнішнє електричне поле частково компенсує контактну різницю потенціалів, що призводить до зниження потенційного бар'єру. Це полегшує інжекцію електронів з n-області в р-область (базу) та дірок з р-області в n-область (емітер). В базі неосновні носії (інжектвані електрони) створюють нерівноважний заряд, що призводить до їхньої рекомбінації з основними носіями (дірками) та випромінювання фотонів з енергією, близькою до ширини забороненої зони напівпровідника.

При розгляді частотних характеристик вважається, що на р-п перехід подається додатна напруга та мала змінна напруга $I = I_0 + \tilde{I} \exp(j\omega t)$.

де, I_0 - постійний струм через р-п перехід.

Рішення нестационарного рівняння безперервності в даному випадку дозволяє встановити залежність між амплітудами $\tilde{I}$ і $\tilde{U}$ малого змінного сигналу:

$$\tilde{I} = \frac{q}{kT} (I_0 + I_{zm}) (1 + j\omega\tau_p)^{1/2} \tilde{U} = Y\tilde{U}$$

де Y являє собою питому провідність р-п переходу.

Розділивши діючу та уявну частину. Провідність р-п переходу можна представити як $Y = G + iB$. Такий вигляд провідності дає можливість описати властивості переходу при малому змінному сигналі завдяки паралельному з'єднанні ємності і опору:

$$Y = \frac{1}{R} + j\omega(C_{лиф} + C_{\sigma}).$$

Порівнявши попередні вирази для Y отримаємо:

$$R = \frac{kT}{q (I_0 + I_s) \sqrt{2} \sqrt{1 + \omega^2 \tau_p^2} + 1} - \text{диференціальний опір переходу};$$

$$C_{\text{диф}} = \frac{q}{kT} \frac{(I_0 + I_s) \tau_p}{\sqrt{2} \sqrt{1 + \omega^2 \tau_p^2} + 1} - \text{дифузійна ємність переходу}.$$

Дифузійна ємність, залежить від частоти та обумовлена інертністю накопичення та зникнення нерівноважних носіїв заряду в нейтральних р- і n-областях. При інжекції, наприклад, дірок в базу n-типу там накопичується заряд неосновних носіїв. Процес встановлення нестационарного заряду відбувається за час життя дірок τ_p і ємності $C_{\text{диф}}$ та відображає інерційність цього процесу.

Гradient концентрації дірок у основі не встановиться до того часу поки дифузійна ємність не зарядиться до величини, що відповідає амплітуді $\tilde{U}$.

Дифузійна ємність зростає при прямому зміщенні пропорційно I_0 . При зворотному зміщенні $C_{\text{диф}}$ проявляється при малих напругах (0.1...0.2 В) та за рахунок екстракції, знижуючись до нуля при $I_0 = -I_s$.

При швидких змінах напруги на напівпровідниковому світлодіоді на основі звичайного р-п переходу значення струму через діод, що відповідає статичній вольт-амперній характеристиці, встановлюється не відразу. Процес встановлення струму при таких переключеннях називається перехідним процесом.

Ефект накопичення проявляється також при виключенні прямого струму I_{np} через р-п перехід (робота з генератором струму, коли $R_{\text{кола}} > R_{p-n}$) У момент закінчення імпульсу струму омичне падіння напруги на базі стає рівним нулю, а так як за межами р-п переходу залишається накопичений заряд, то спостерігається деякий залишковий потенціал, що поступово знижується до нуля. Цей потенціал називається післяінжекційною ЕРС. Зменшення цієї ЕРС відбувається по мірі рекомбінації носіїв в базі та описується виразом

$$U_{p-n}(t) = U_{p-n}(0) - \frac{kT}{q} \left(\frac{t}{\tau_p} \right)$$

$$\text{де } U_{p-n}(0) = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_n}{p_{n0}}.$$

Зниження нослеінжекційної ЕРС триває протягом часу майже на порядок більшим ніж час відновлення $t_{\text{відн}}$ оскільки воно визначається лише рекомбінацією, а час перемикання, крім того, ще й дифузійним «витягуванням» носіїв з бази через р-п перехід.

Розуміння перехідних процесів є важливим при проектуванні схем керування світлодіодами, особливо в імпульсних режимах роботи та на високих частотах. Врахування часових затримок включення та вимкнення, а також потенційних перенапруг, дозволяє забезпечити надійну та ефективну роботу світлодіодів у різноманітних застосуваннях. Вибір компонентів кола з урахуванням частотних характеристик світлодіода та застосування захисних елементів допомагають мінімізувати негативний вплив перехідних процесів.