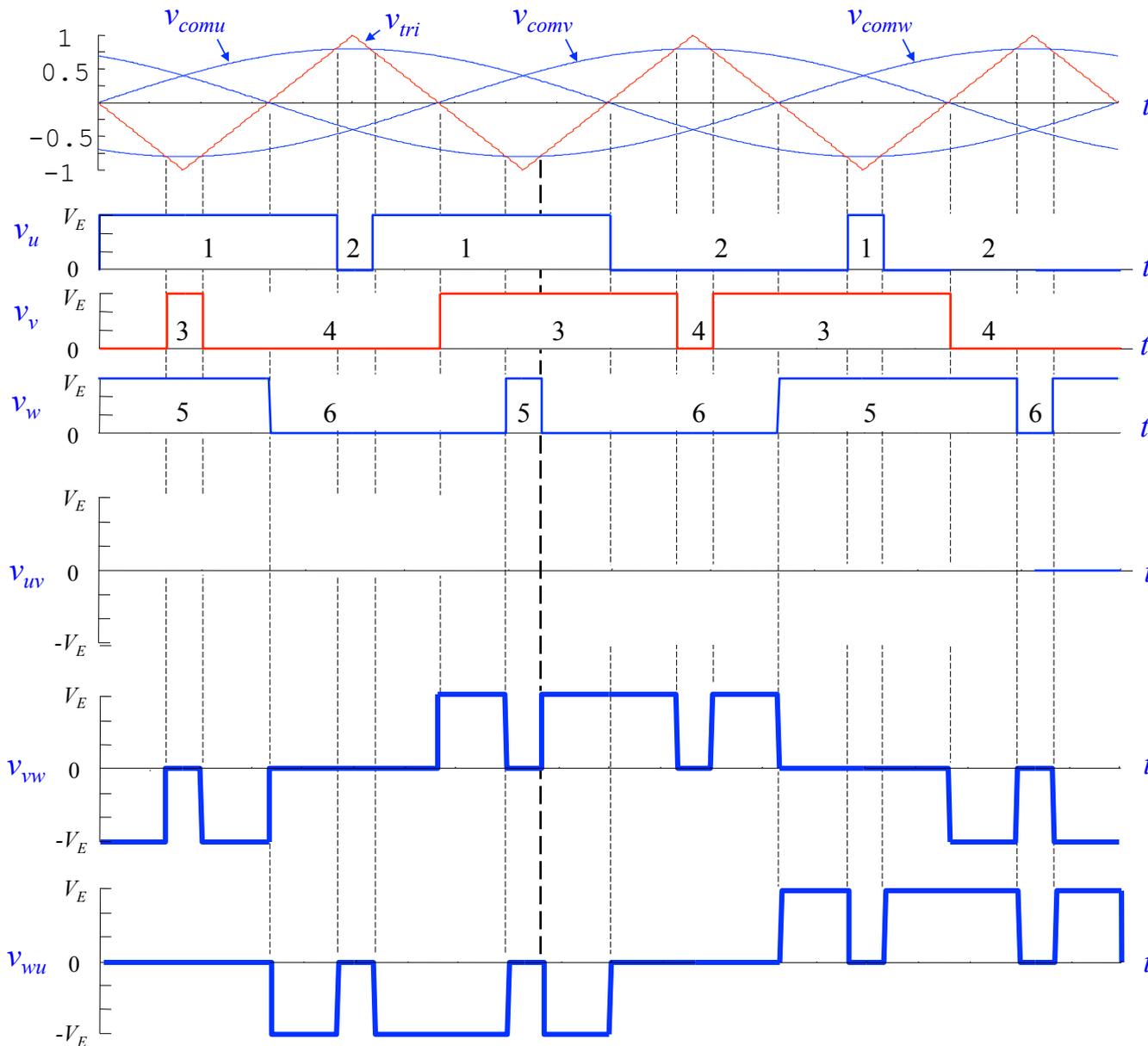


パワーエレクトロニクス講義資料 第15回 3相PWMインバータ(つづき)

担当: 古橋武

furuhashi@cse.nagoya-u.ac.jp

11.3 PWM制御 (3パルスPWM)



$v_{comu} > v_{tri}$ のとき
Tr1 , Tr2

$v_{comu} < v_{tri}$ のとき
Tr1 , Tr2

$v_{comv} > v_{tri}$ のとき
Tr3 オン, Tr4 オフ

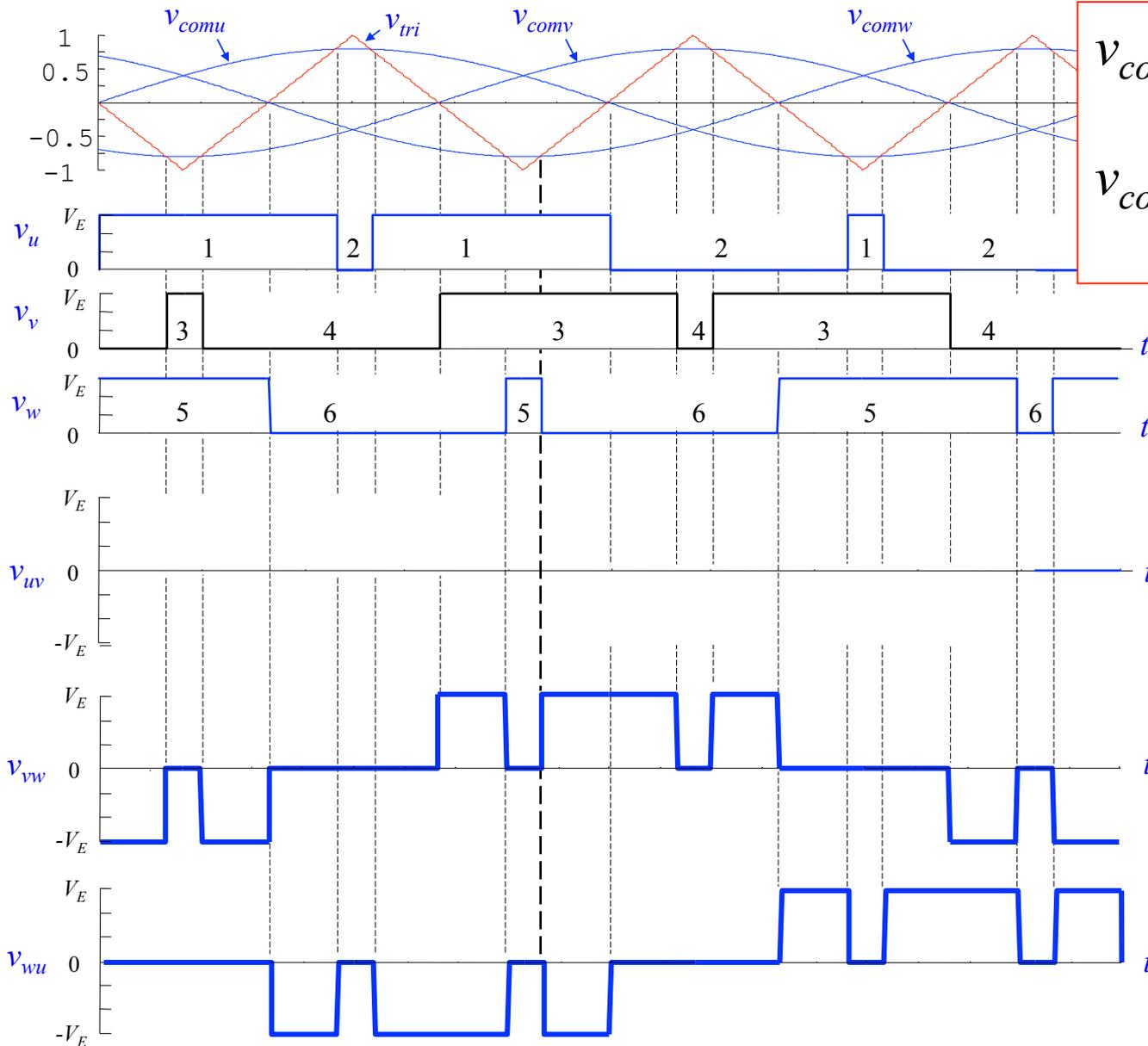
$v_{comv} < v_{tri}$ のとき
Tr3 オフ, Tr4 オン

$v_{comw} > v_{tri}$ のとき
Tr5 オン, Tr6 オフ

$v_{comw} < v_{tri}$ のとき
Tr5 オフ, Tr6 オン

図11.6 3パルスPWM制御法の実出力電圧波形

11.3 PWM制御 (3パルスPWM)



$v_{comu} > v_{tri}$ のとき
Tr1 オン, Tr2 オフ
 $v_{comu} < v_{tri}$ のとき
Tr1 オフ, Tr2 オン

$v_{comv} > v_{tri}$ のとき
Tr3 オン, Tr4 オフ
 $v_{comv} < v_{tri}$ のとき
Tr3 オフ, Tr4 オン

$v_{comw} > v_{tri}$ のとき
Tr5 オン, Tr6 オフ
 $v_{comw} < v_{tri}$ のとき
Tr5 オフ, Tr6 オン

図11.6 3パルスPWM制御法の実出力電圧波形

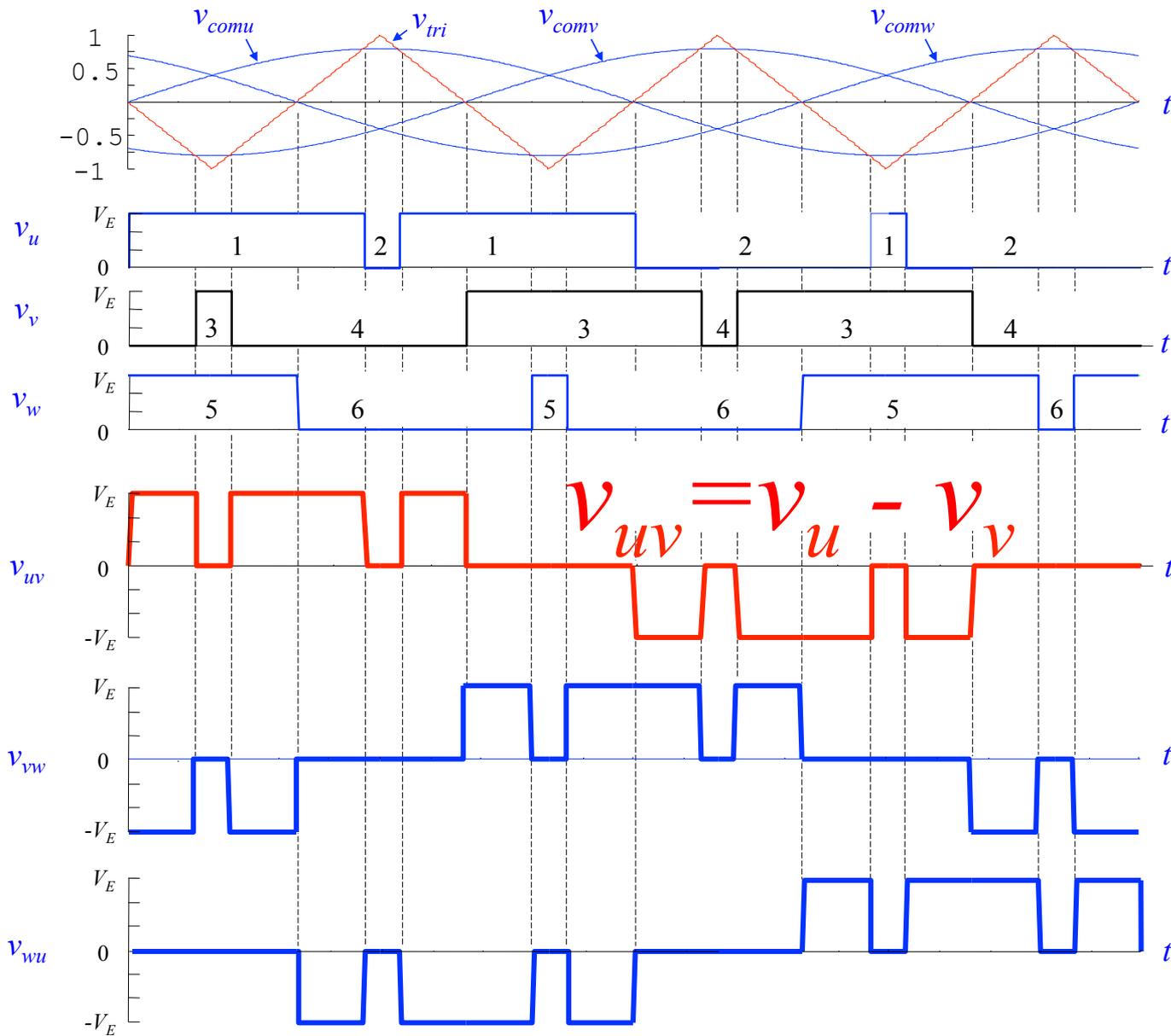
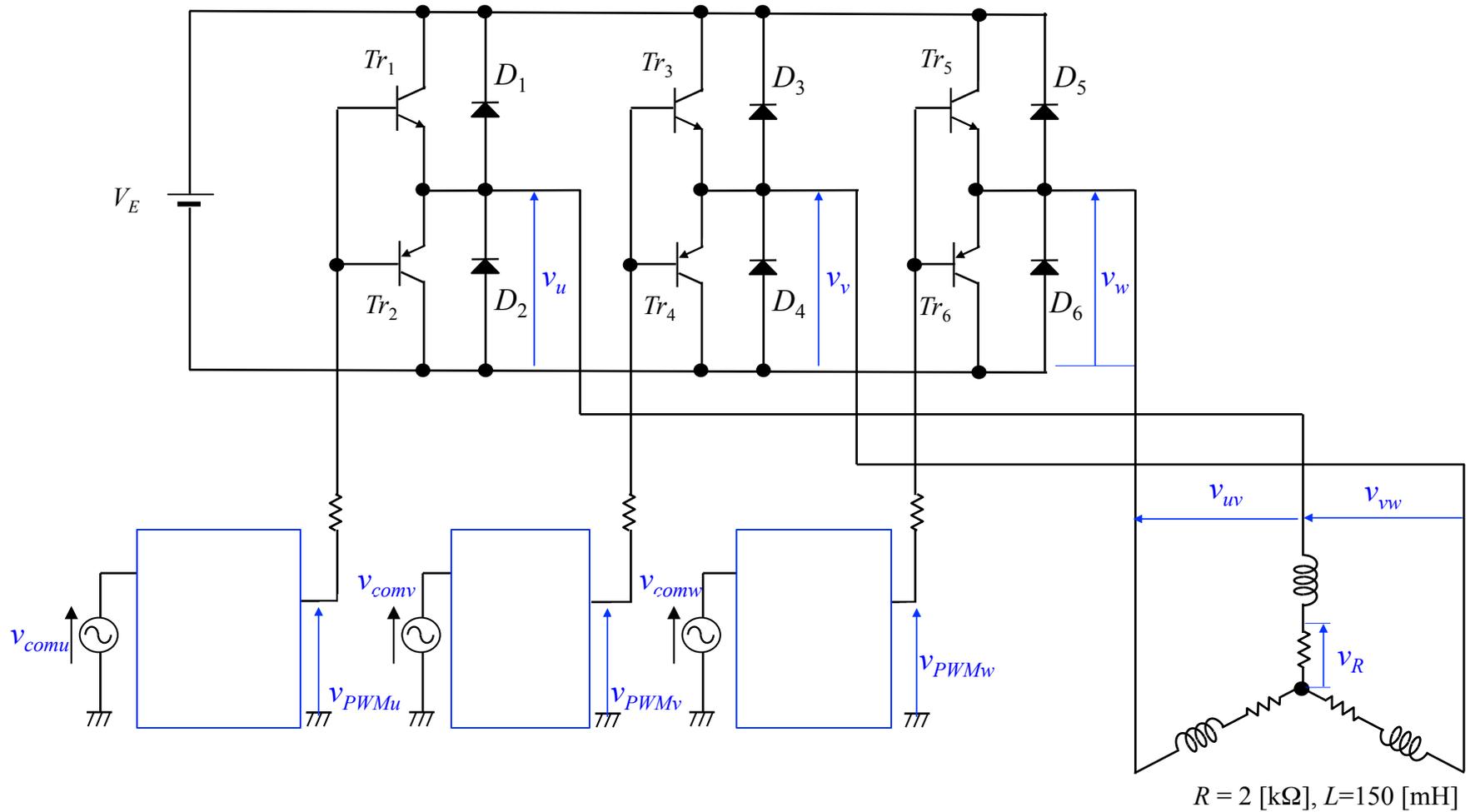


図11.6 3パルスPWM制御法の実出力電圧波形



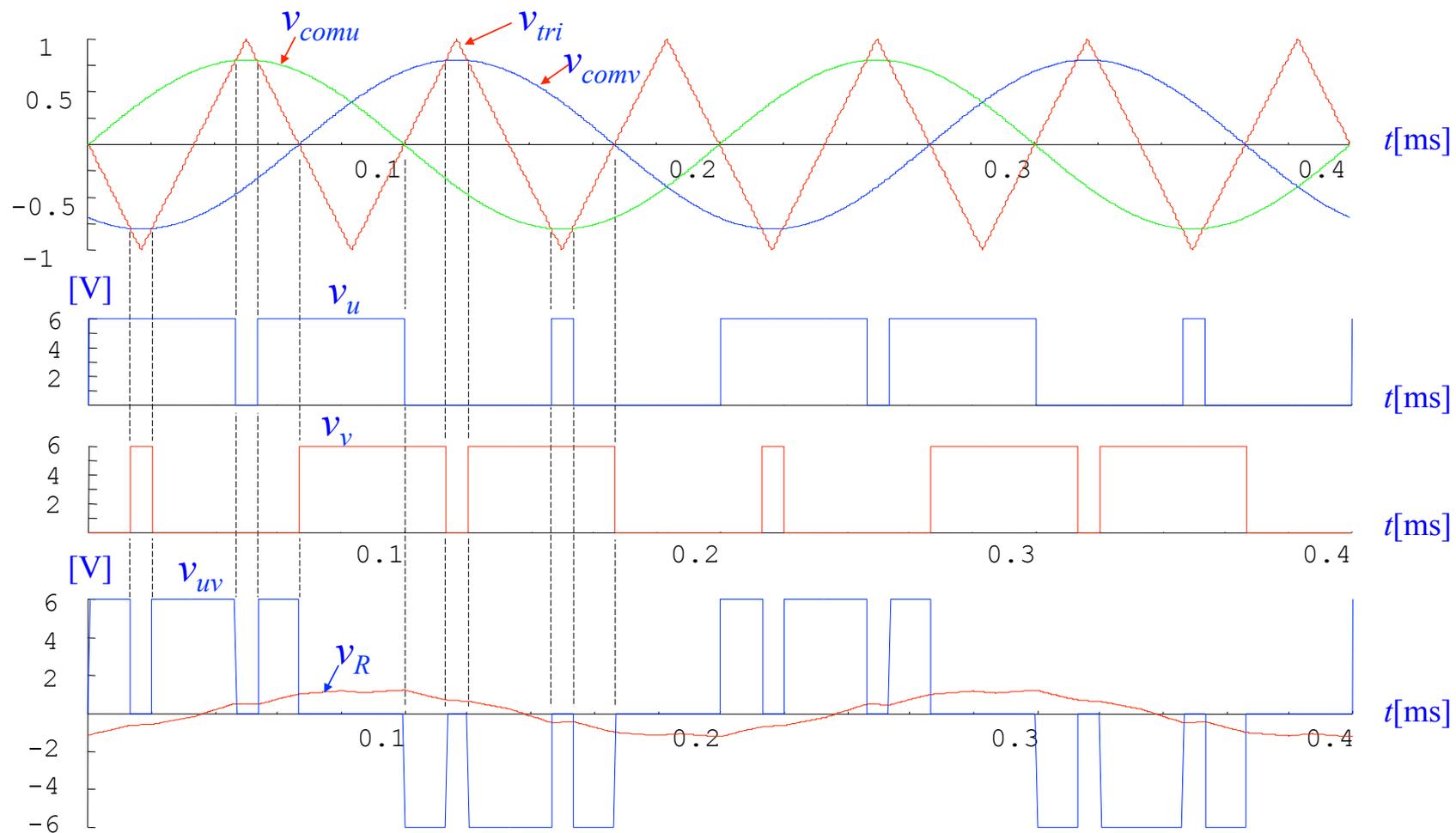


図11.6 3パルスPWM制御法の実出力電圧・電流波形
 スイッチング周波数 $f_{sw} = 15[\text{kHz}]$, $R=2[\text{k}\Omega]$, $L150[\text{mH}]$, $V_E = 6[\text{V}]$

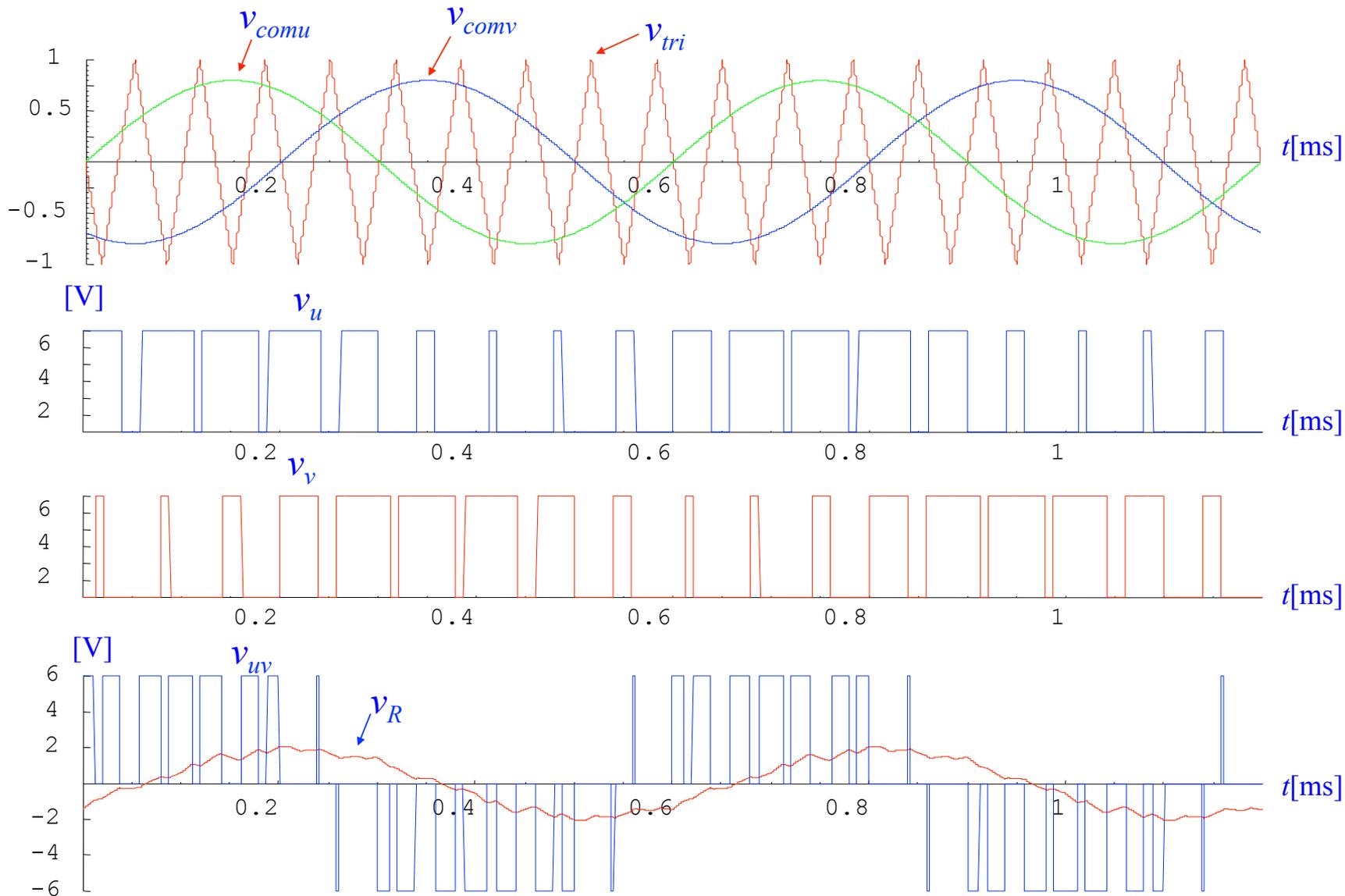
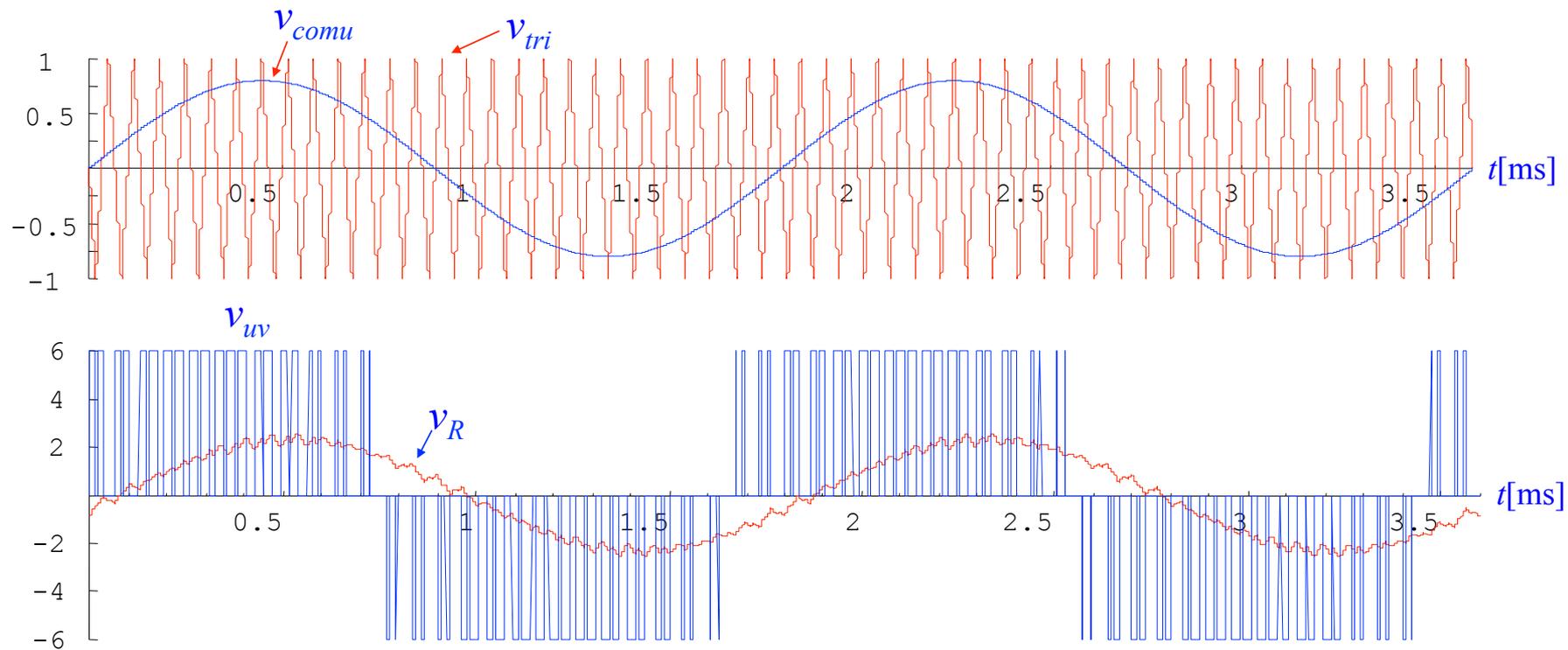
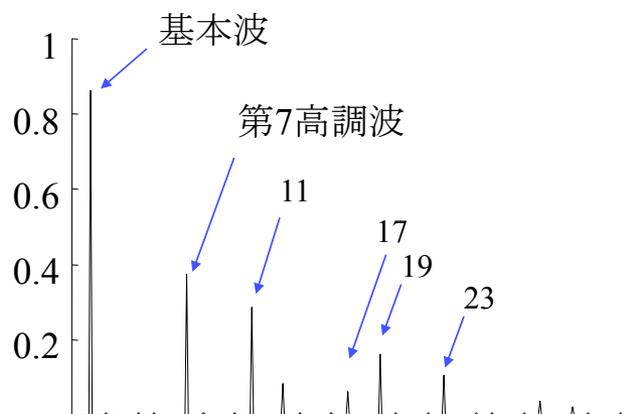
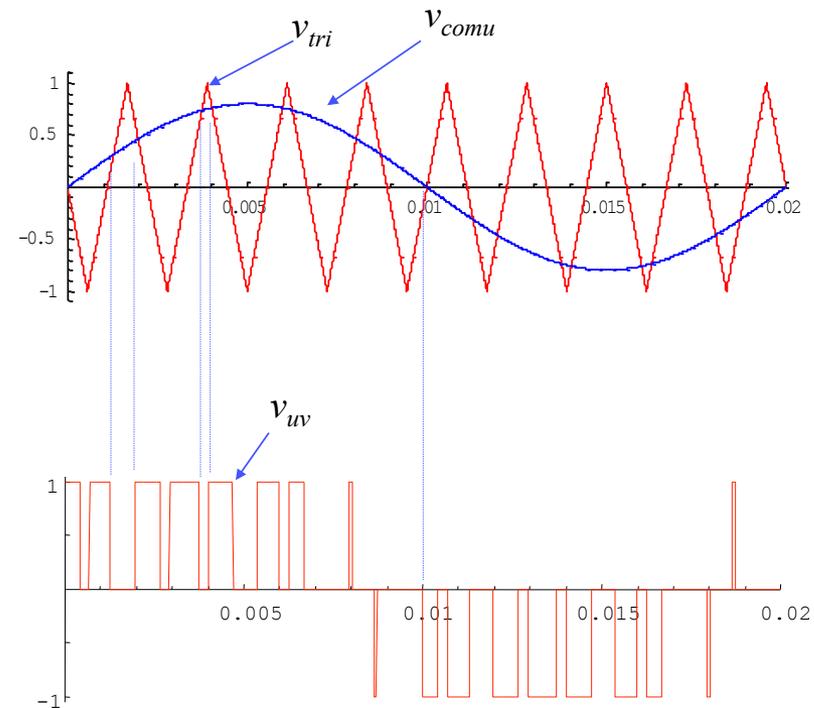
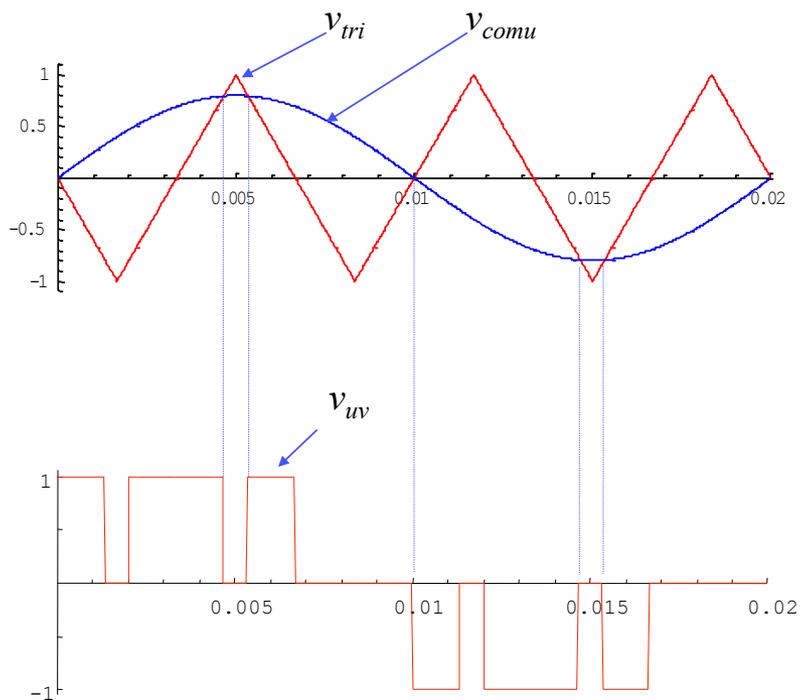


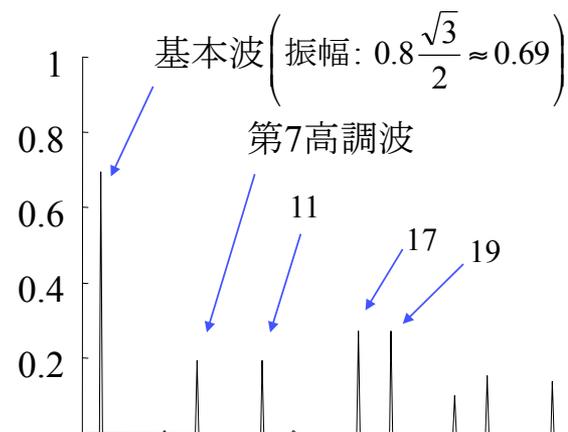
図11.12 9パルスPWM制御法の実出力電圧波形

参考 27パルスPWM制御





(a) 3パルス

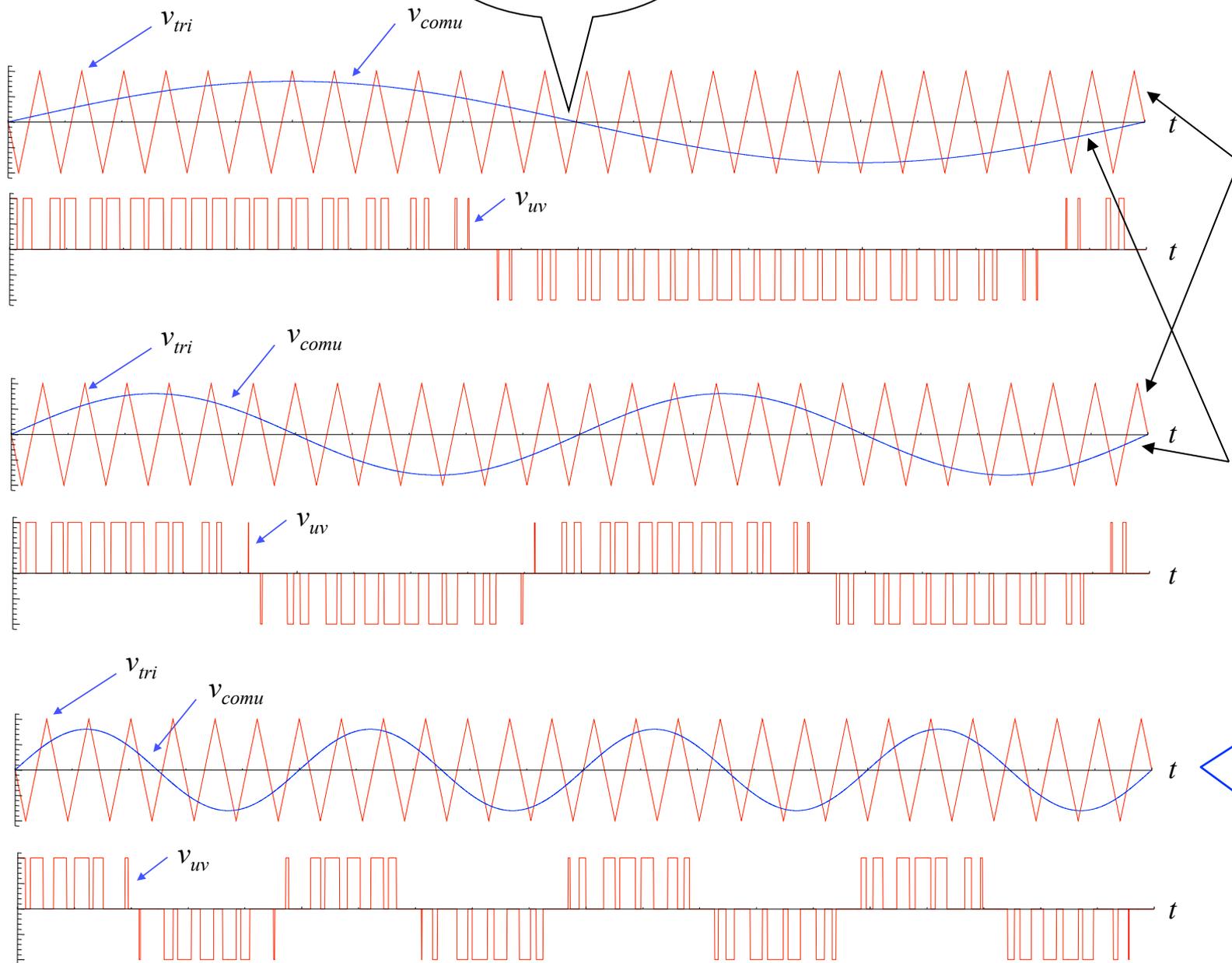


(b) 9パルス

図11.13 出力線間電圧の高調波解析結果

非同期モード

三角波のゼロクロス点と指令電圧のゼロクロス点不一致している。

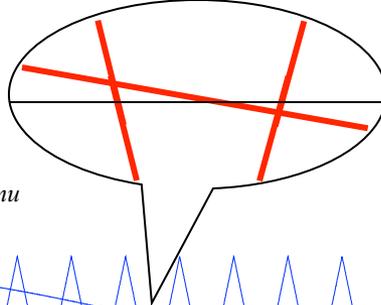


三角波 v_{tri} の周波数は

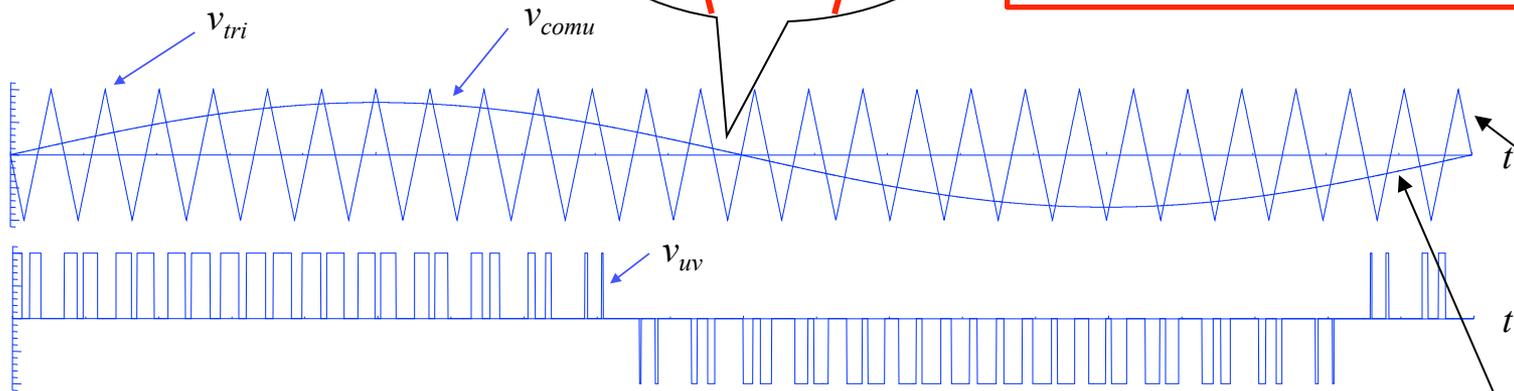
指令電圧 v_{com} の周波数

出力周波数
スイッチング周波数

非同期モード

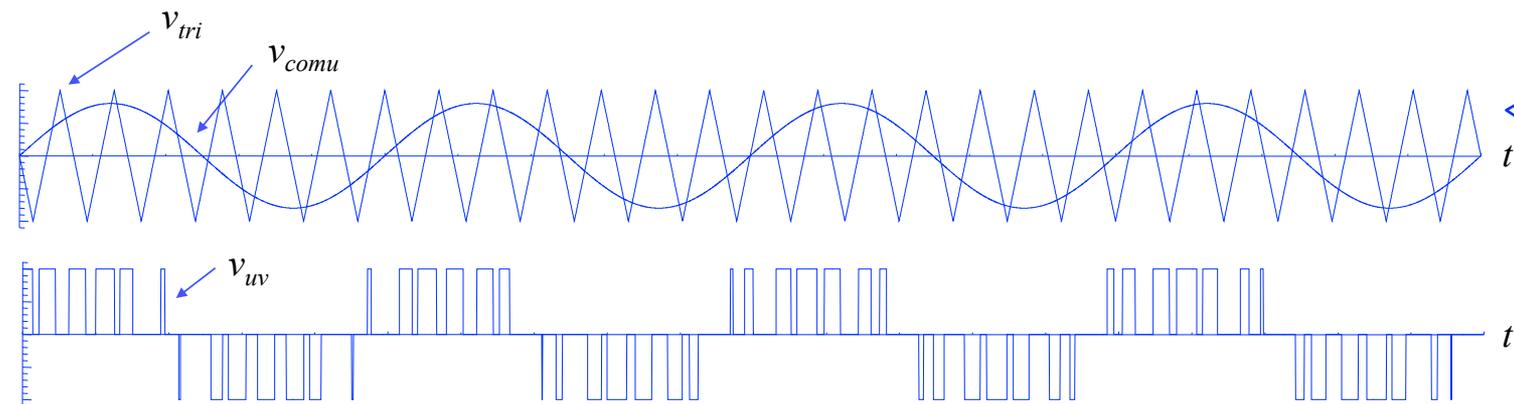
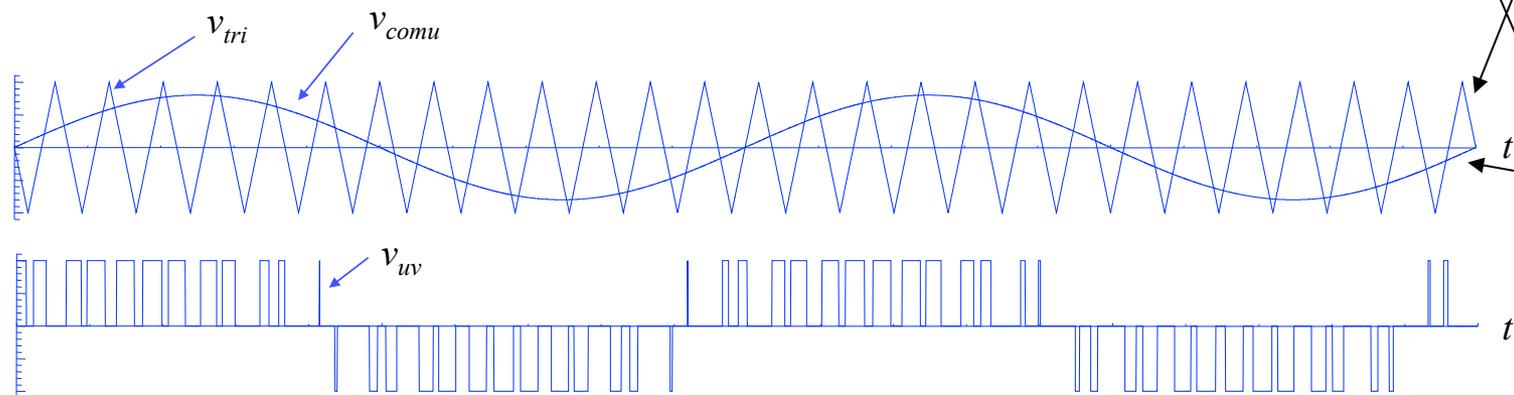


三角波のゼロクロス点と指令電圧のゼロクロス点不一致している。



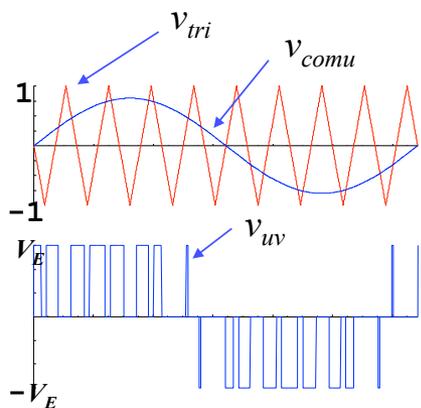
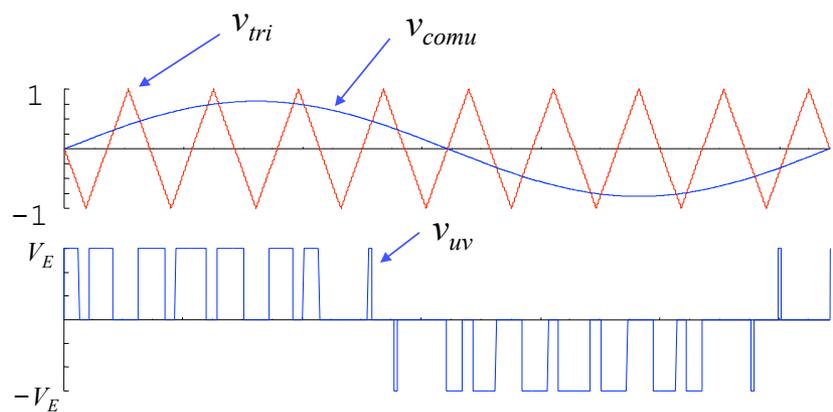
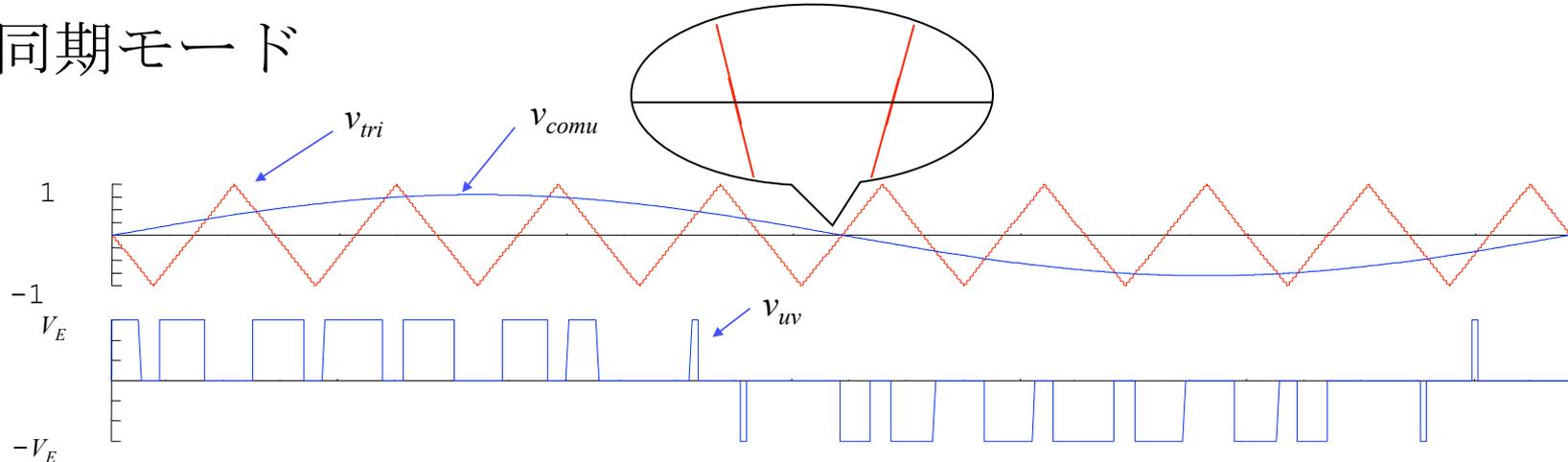
三角波 v_{tri} の周波数は一定

指令電圧 v_{com} の周波数のみ可変



出力周波数増大
スイッチング周波数一定

同期モード

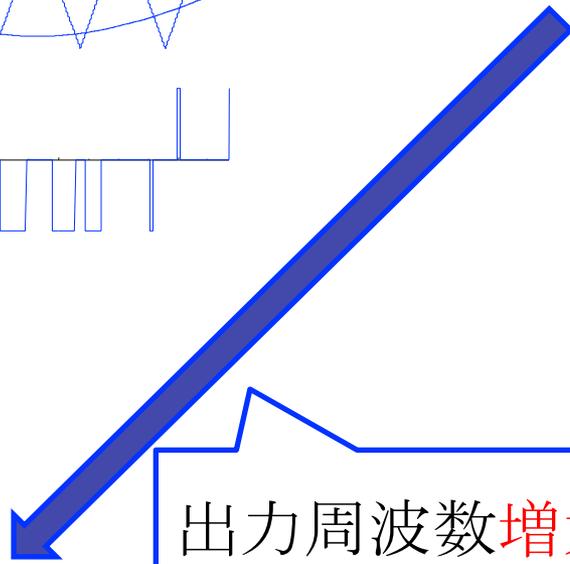
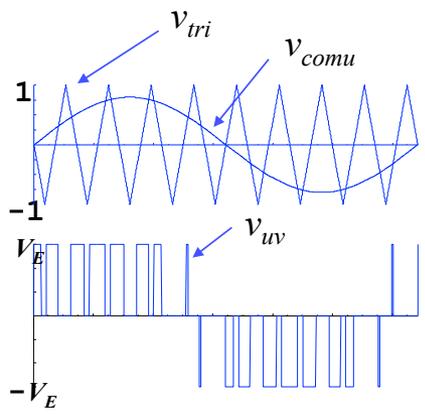
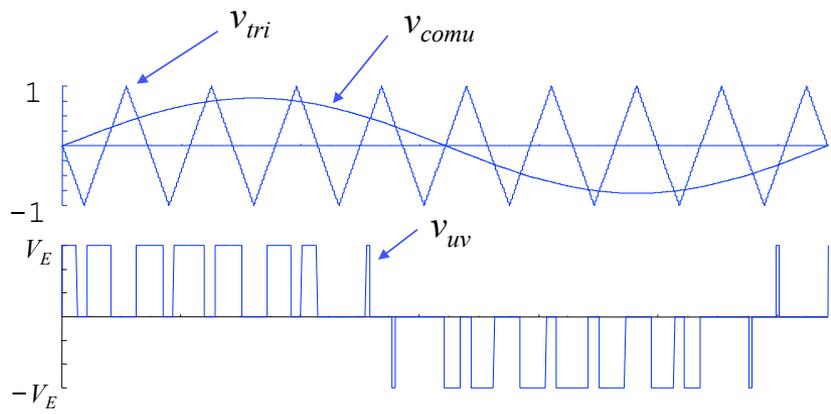
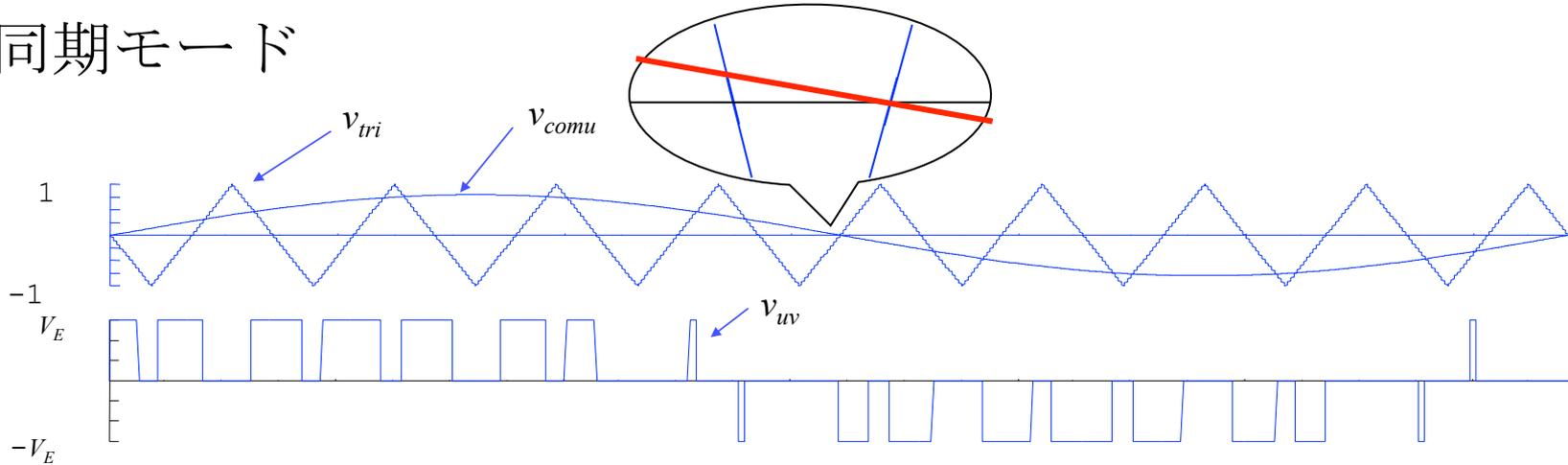


指令電圧 v_{com} の
周波数 f_{com} と三
角波 v_{tri} の繰返し
周波数 f_{tri} の

出力周波数
スイッチング周波数

(この例では
1/9) に保ってい
る.

同期モード

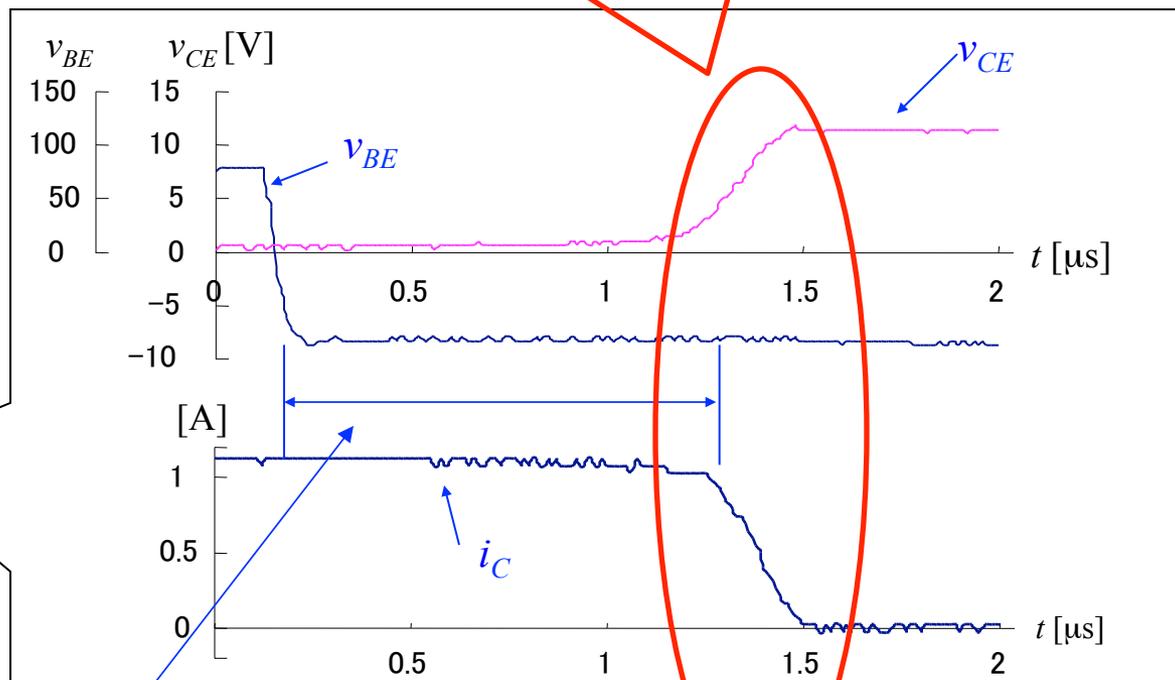
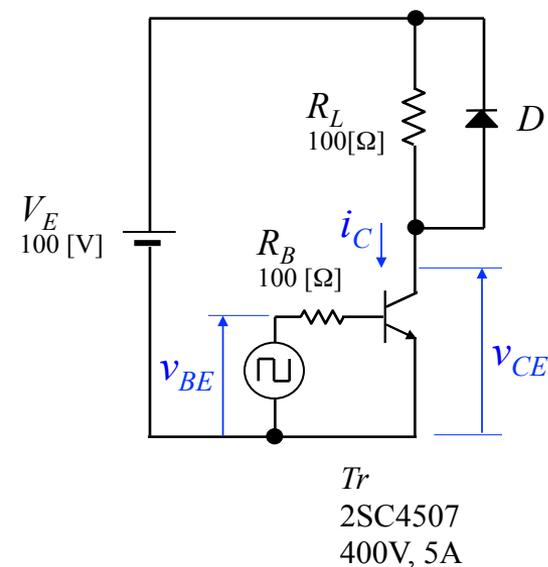


出力周波数**増大**
 スwitchング周波数
増大

指令電圧 v_{com} の
 周波数 f_{com} と三
 角波 v_{tri} の繰返し
 周波数 f_{tri} の
 比 (f_{com} / f_{tri})
 を常に一定
 (この例では
 1/9) に保ってい
 る.

Trにおけるスイッチング損失 (実験波形例)

$v_{CE} > 0, i_C > 0$ の期間がある。トランジスタ内の損失となる。
→スイッチング損失 E_{loss} という。

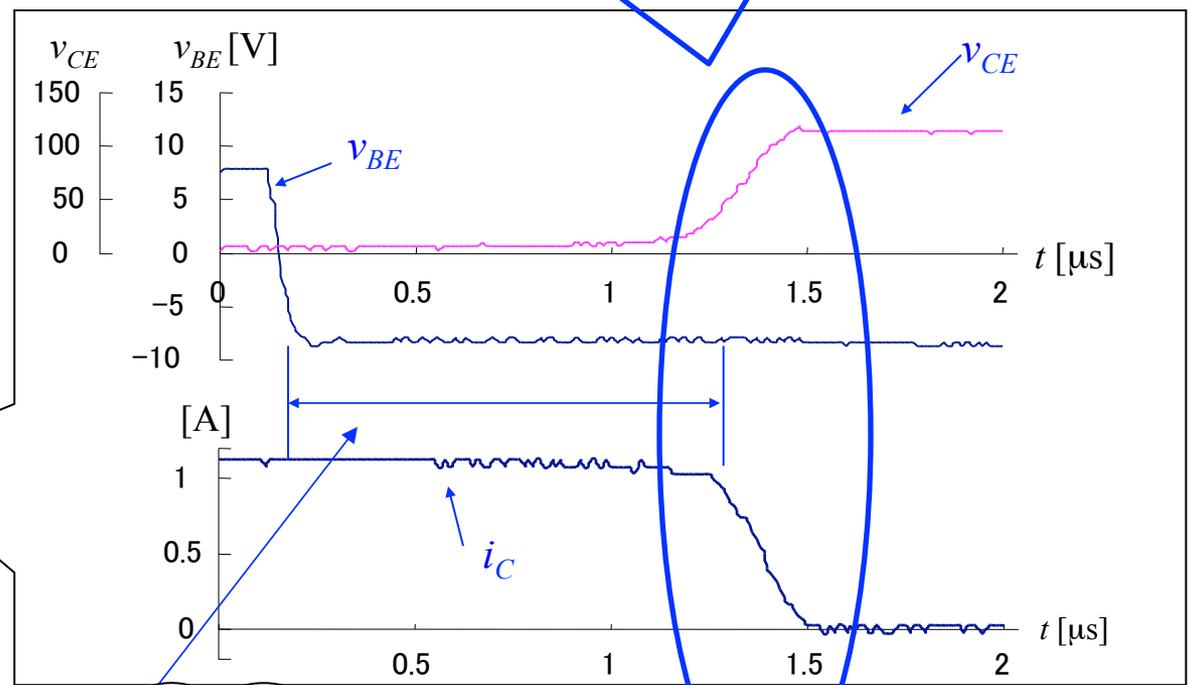
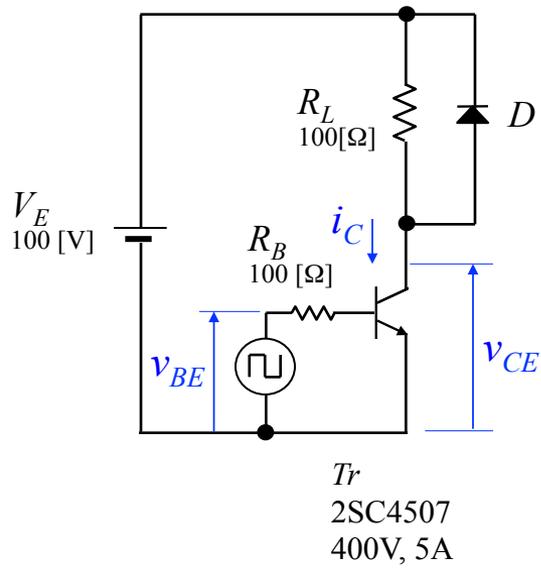


ベースエミッタ間電圧
 v_{BE} が負となっても
しばらくの間コレクタ電
流 i_C が流れ続けている。

Trにおけるスイッチング損失 (実験波形例)

$v_{CE} > 0, i_C > 0$ の期間がある。トランジスタ内の損失となる。→スイッチング損失 E_{loss} という。

$$E_{loss} = \int v_{CE} i_C dt \quad [J]$$



ベースエミッタ間電圧 v_{BE} が負となってもしばらくの間コレクタ電流 i_C が流れ続けている。

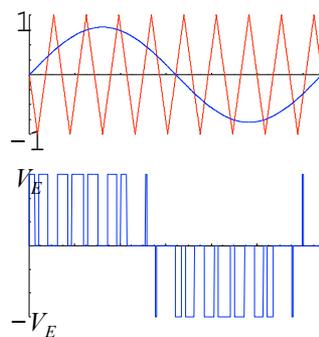
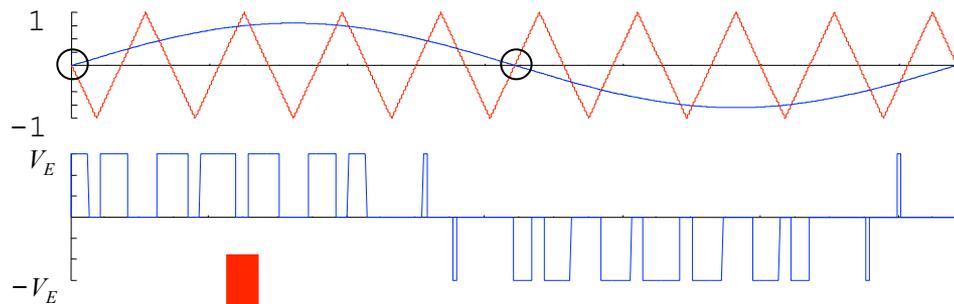
高速時における同期モード

スイッチング周波数 f_{sw} が高くなる。
→スイッチング損失が増大する。

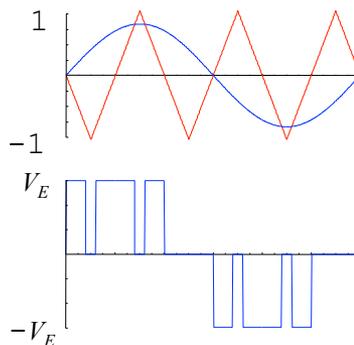
$$P_{loss} = E_{loss} \times f_{sw} \text{ [W]}$$

→

700系新幹線(1.5kHz)



(a) 9パルス



(b) 3パルス

指令電圧の周波数 f_{com} と三角波の繰返し周波数 f_{tri} の比 (f_{com}/f_{tri}) を常に一定に保つ (この例では 1/9)

三角波の繰返し周波数 f_{tri} を1/3に低減して、

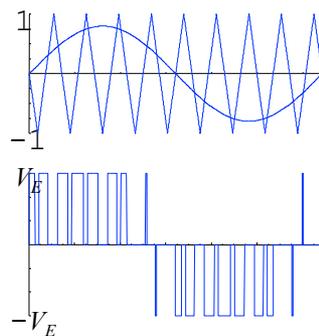
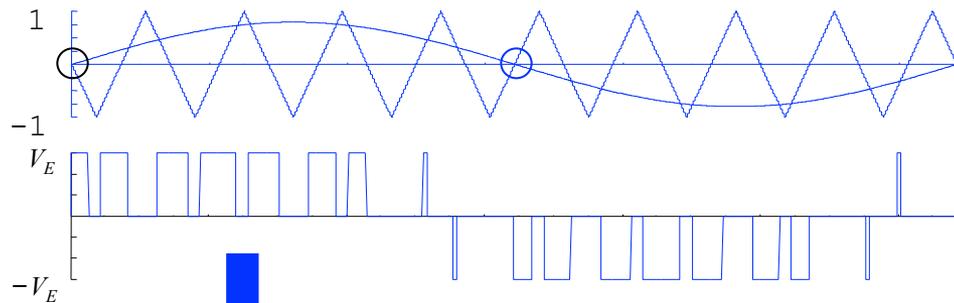
高速時における同期モード

スイッチング周波数 f_{sw} が高くなる。
→スイッチング損失が増大する。

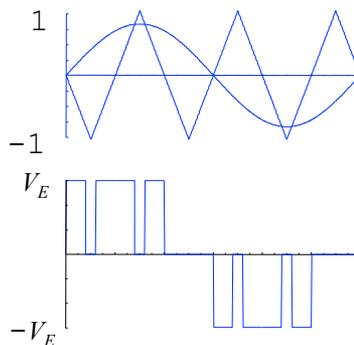
$$P_{loss} = E_{loss} \times f_{sw} \text{ [W]}$$

→ f_{sw} には上限がある。

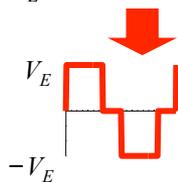
700系新幹線(1.5kHz)



(a) 9パルス



(b) 3パルス

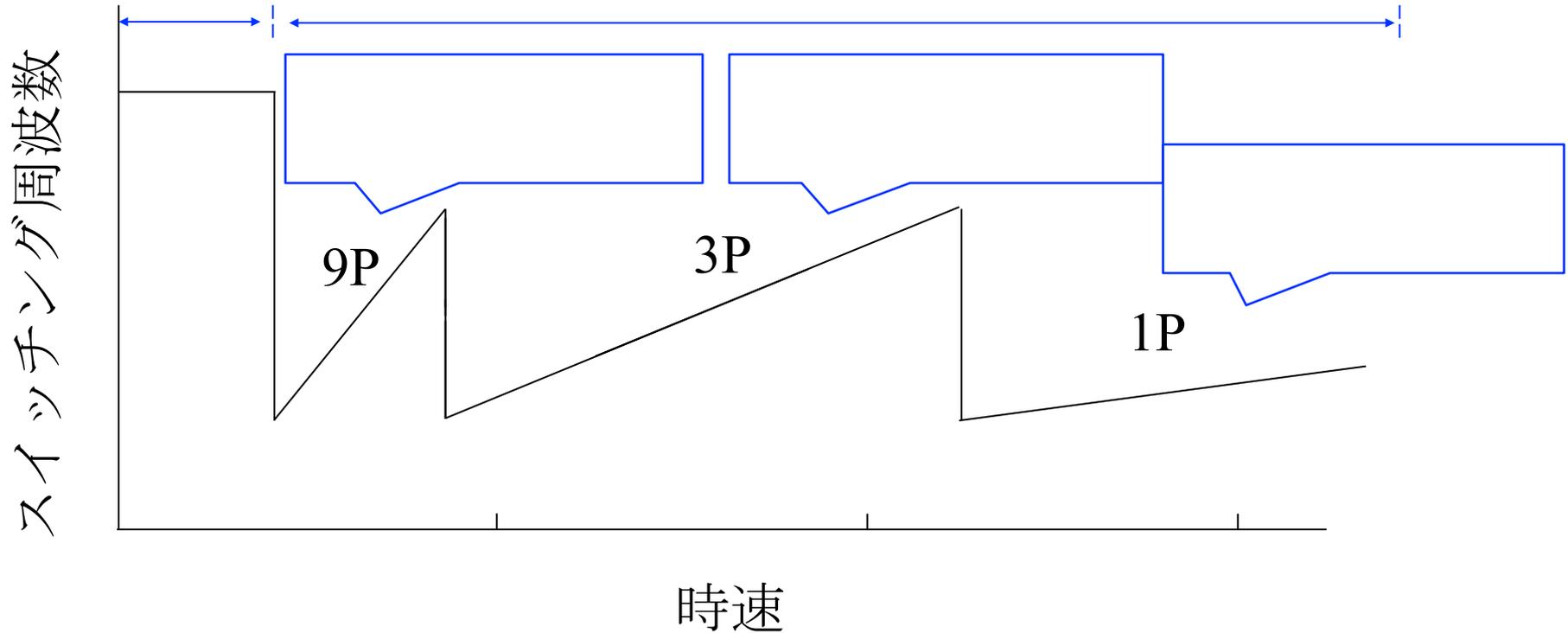


(c) 1パルス

指令電圧の周波数 f_{com} と三角波の繰返し周波数 f_{tri} の比 (f_{com}/f_{tri}) を常に一定に保つ (この例では 1/9)

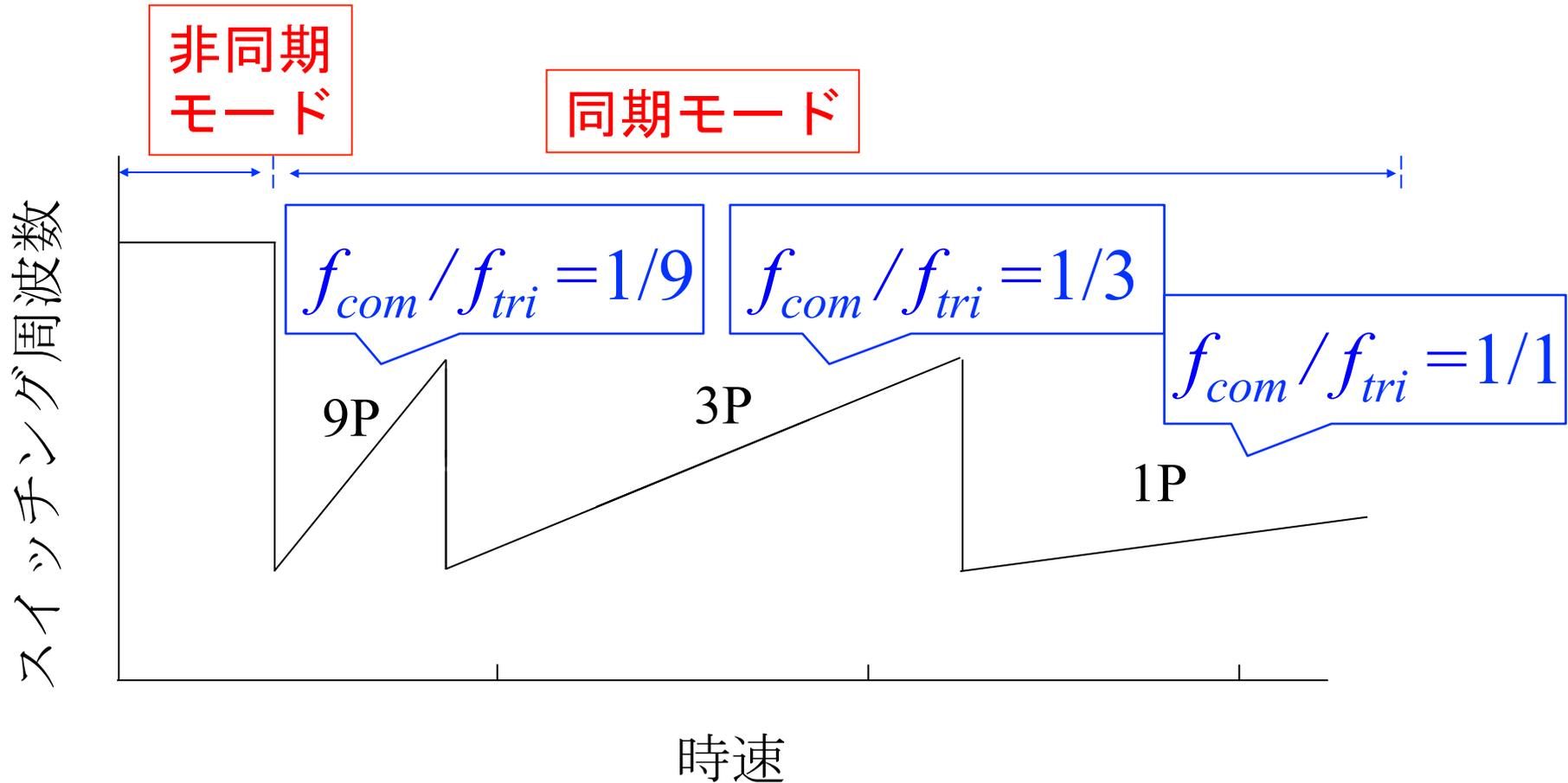
三角波の繰返し周波数 f_{tri} を1/3に低減して、 f_{sw} を下げる。

電車におけるパルスモード切替の例



PWMパルスモード切り替えの例

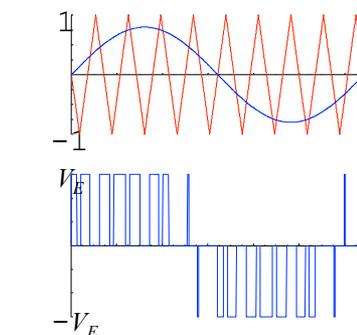
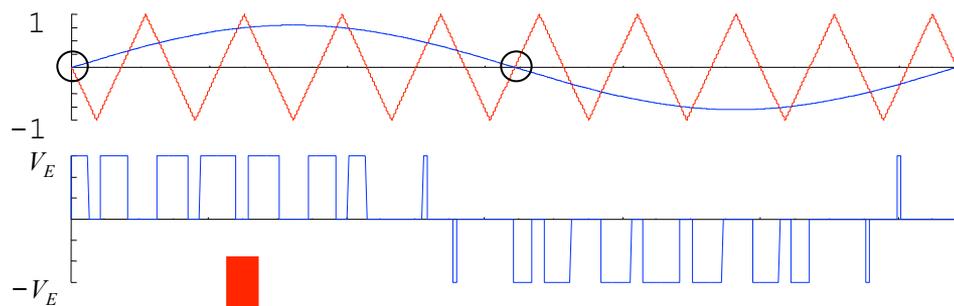
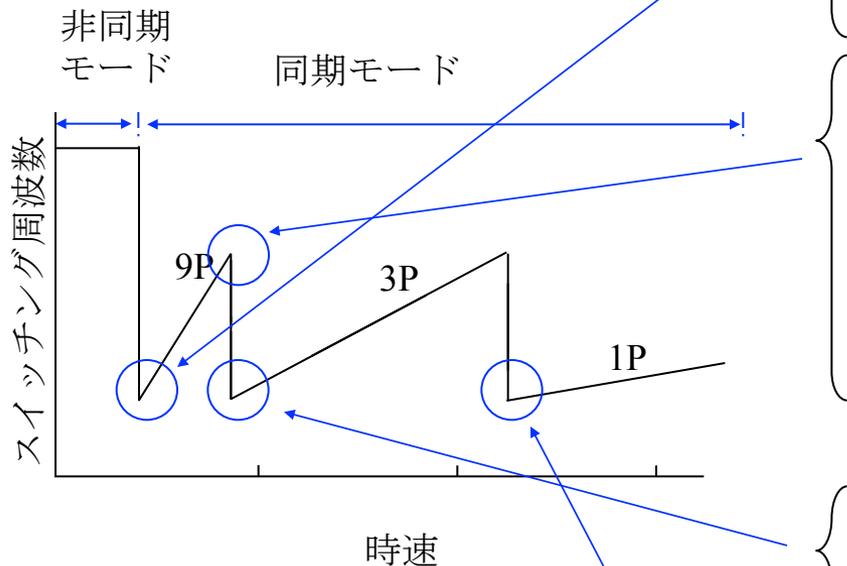
電車におけるパルスモード切替の例



PWMパルスモード切り替えの例

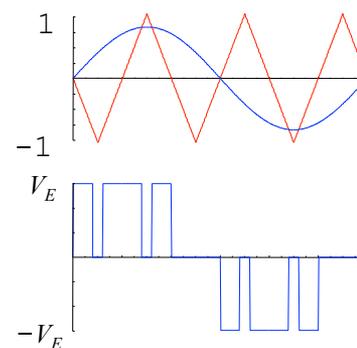
高速時における同期モード

三角波と指令電圧のゼロクロス点が常に一致するようにする。



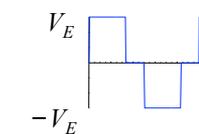
指令電圧の周波数 f_{com} と三角波の繰返し周波数 f_{tri} の比 (f_{com}/f_{tri}) を常に一定に保つ (この例では 1/9)

(a) 9パルス



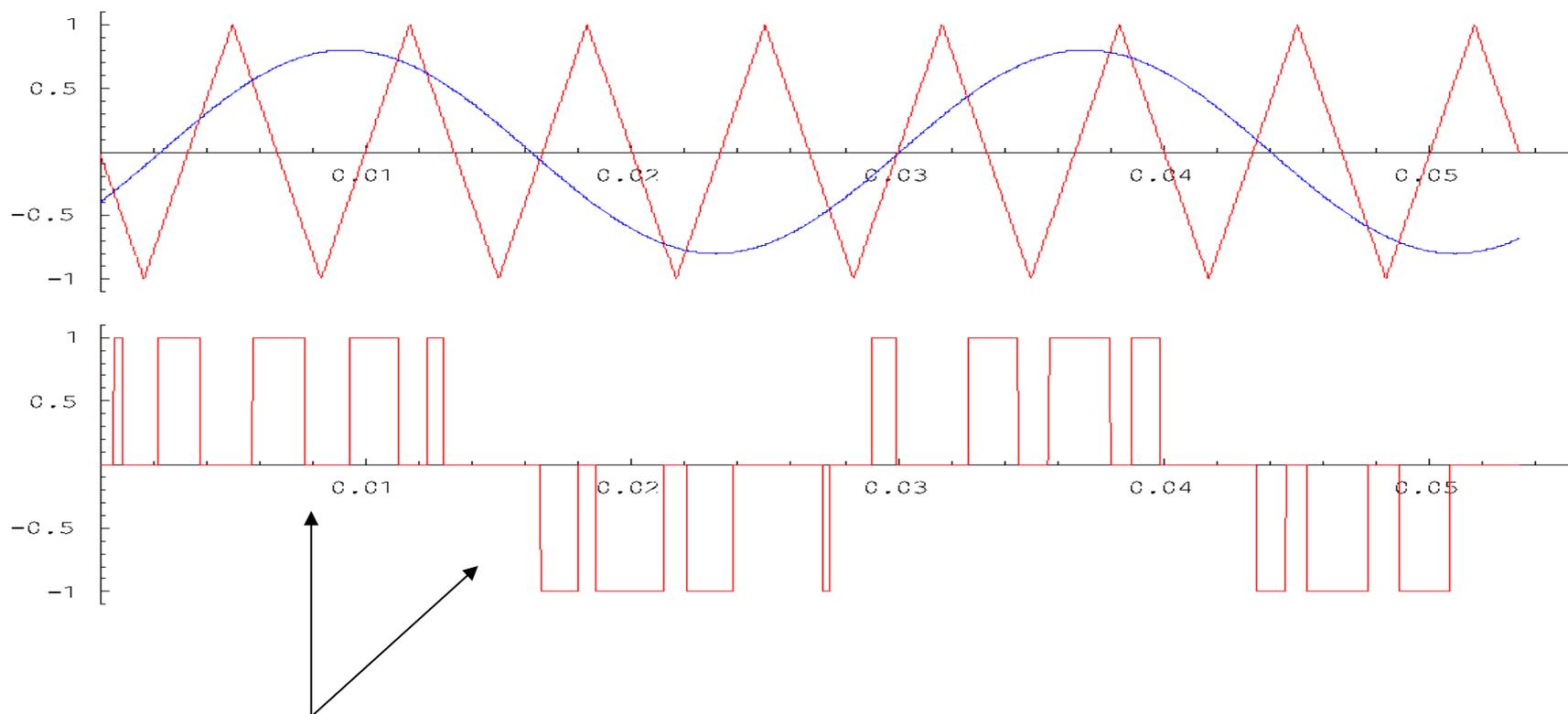
三角波の繰返し周波数 f_{tri} を 1/3 に低減

(b) 3パルス

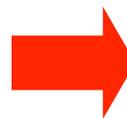


(c) 1パルス

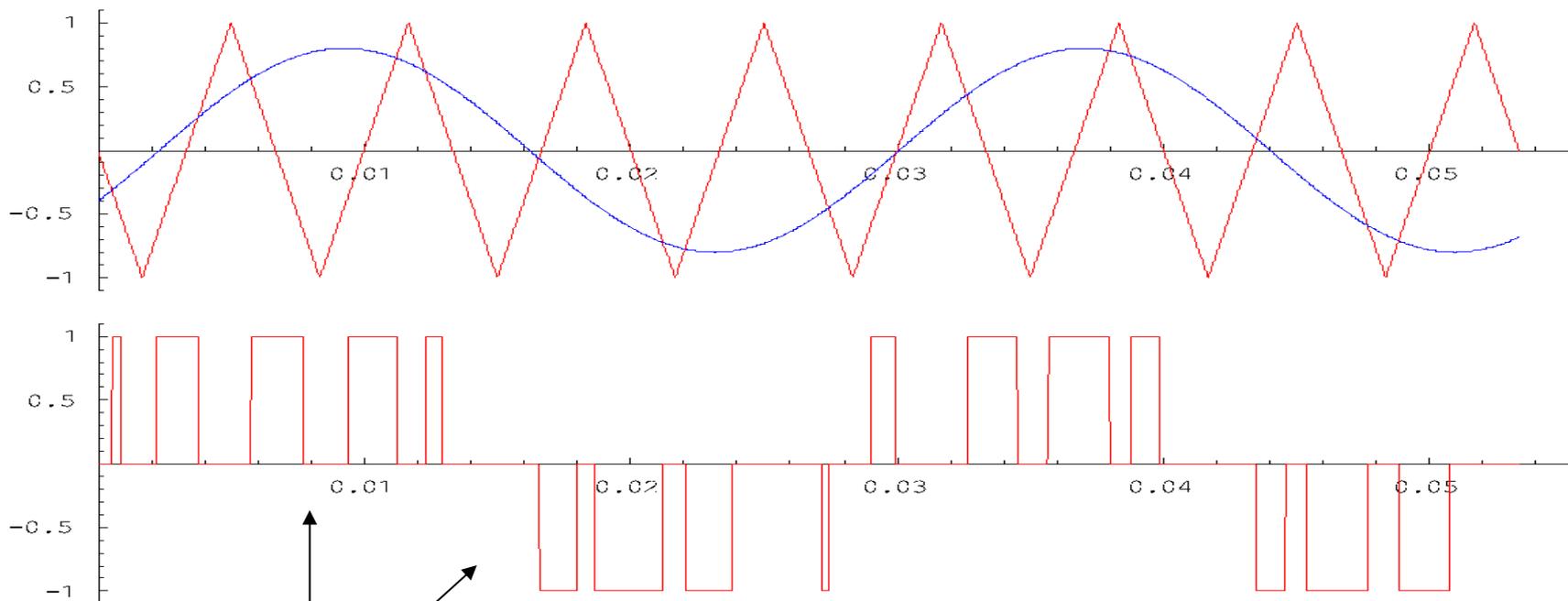
同期がとれないとどうなるか？



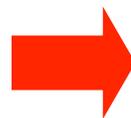
正負非対称
毎周期で波形が異なる.



同期がとれないとどうなるか？



正負非対称
毎周期で波形が異なる。



**モータの過
熱・振動・
騒音**

新幹線



<http://ja.wikipedia.org/wiki/新幹線100系電車>

100系(1985～)

設計最高速度: 275 km/h

主電動機: 直流直巻電動機

制御装置: サイリスタ位相制御

ブレーキ方式: 発電ブレーキ併用



<http://ja.wikipedia.org/wiki/新幹線300系電車>

300系((1990～)

設計最高速度 285 km/h

主電動機: かご形三相誘導電動機

制御装置: VVVFインバータ制御 (GTOサイリスタ素子) スイッチング周波数 420 [Hz]

ブレーキ方式: 回生併用

新幹線で初のVVVFインバータ制御を採用。交流モーターの採用により100系の直流モーターと比較して出力は約30%アップしながら質量は約半分になっており、車両全体の軽量化に寄与している。また、VVVFインバータ制御を利用した回生ブレーキも新幹線車両として初めて装備。



<http://ja.wikipedia.org/wiki/新幹線500系電車>

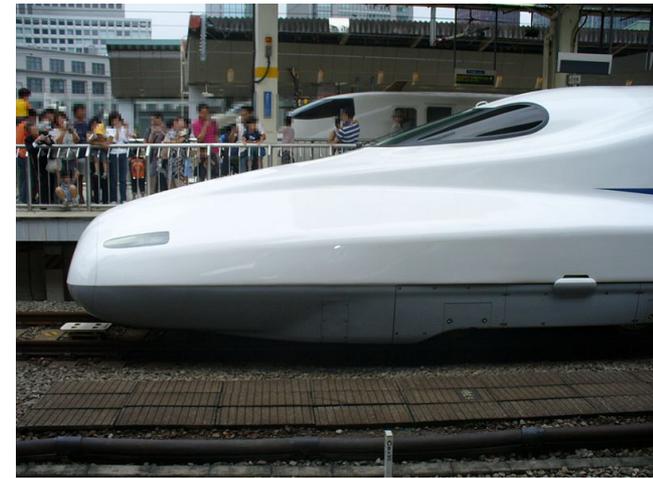
500系(1992~)

設計最高速度 365km/h

主電動機: かご形三相誘導電動機

制御装置: VVVFインバータ制御
(GTOサイリスタ素子)

ブレーキ方式: 回生併用



<http://ja.wikipedia.org/wiki/新幹線N700系電車>

N700系(2005~)

主電動機 かご形三相誘導電動機

制御装置 VVVFインバータ制御 (IGBT)

スイッチング周波数 1.5 [kHz]

ブレーキ方式 回生併用

- ・非同期期間
列車発車直後から
- 300系 約 5秒間
- 500系 約22秒間
- N700系 約25秒間

・騒音レベル
N700系ではモータの騒音が小さい