

철도차량 내 직류전원 다중공급 및 부하분담에 대한 수치적 해석

Numerical analysis for load sharing of multiple DC power supply in railway vehicles

박상헌*[†], 이준일*, 김완*, 박종익*

Sang-Heon Park*[†], Jun-il Lee*, Wan Kim*, Jong-Ik Park*

Abstract Railway vehicle is composed of a trainset comprised with a number of cars and several auxiliary power supply (hereafter APS), located independently within the trainset, feeds auxiliary power, sharing the loads of the trainset. AC system of auxiliary power is operated in separate system due to phase difference between AC outputs of APS, while, DC system is operated in parallel structure, which has common potential of the reference, and joined into DC bus. Because this kind of parallel structural DC power supply has unbalancing bias incurred by the potential difference between DC outputs, mentioned DC system's bus could not be simplified only as a node. For actual multiple parallel structural DC power source, in case that their output potentials are mutually different, what kinds of factor affect the load sharing and the numerically predicting and approaching methodology on these factors will be handled in this paper.

Keywords : Auxiliary power, DC power supply, Load sharing, DC system

초 록 철도차량은 다수의 차량이 연결되어 하나의 편성을 구성하며, 편성 내 개별적으로 위치하는 다수개의 보조전원장치가 차량의 부하를 분담한다. 보조전원의 교류계통은 보조전원장치 출력간 위상 차로 인해 각각 독립계통으로 운영하는 반면 직류계통은 기준전위를 공통으로 하고 각 보조전원장치 출력을 편성 내 하나의 모선으로 인통하여 병렬구조로서 운용한다. 이러한 병렬구조의 직류전원은 각 출력간 전위차로 인해 높은 전위 측에 부하편중 현상이 발생하므로 언급한 직류계통 모선을 절점의 개념으로 단순화 하는 것이 의미가 없다. 본 논문에서는 실제의 다중 병렬구조 직류전원에서 출력 전위가 상호 다른 조건하에 어떠한 요소가 부하분담에 영향을 미치는지 규정하고 이러한 요소를 수치적으로 예측하여 접근하는 방법에 대해 논하고자 한다.

주요어 : 보조전원, 직류전원, 부하분담, 직류계통

1. 서 론

철도차량은 여러 개의 차량이 연결되어 하나의 편성을 구성하며, 편성 내 다중의 전원장치를 포함한다. 또한, 주된 동력원으로 전기를 사용하는 전기동차와 디젤을 사용하는 디젤동차로 나눌 수 있다. 전기동차의 경우 집전단계를 포함하여 견인 전원을 공급하는 고압계통과 차량제어 및 상용장치들에 공급하는 보조전원계통으로 구분되며, 디젤동차의 경우 고압계통이 불필요하여 보조전원계통만으로 구성되는 형태이다. 보조전원계통은 교류계통과 직류계통으로 구분된다.

[†] 교신저자: 현대로템주식회사 철차연구3팀(sogoodjesus@hyundai-rotem.cp.kr)

* 현대로템주식회사 철차연구3팀

현대의 철도차량은 여러 개의 차량이 연결되어 차량의 길이가 길고 다중의 보조전원장치가 부하를 부담토록 하는 것이 대부분이다.

보조전원의 교류계통은 전원장치 출력간의 위상차로 인해 각각 독립계통으로 운영한다. 반면 직류계통의 경우 기준전위를 공통으로 하고 각 보조전원장치의 출력을 편성내 하나의 모선으로 인통하여 병렬로 공급하는 구조로 구성하게 된다.

언급한 직류계통의 모선을 절점의 개념으로 단순화 하는 것은 의미가 없다. 왜냐하면 같은 조건을 지닌 보조전원장치가 같은 조건의 부하에 각각 분담하는 부하량이 실제로 차이가 있기 때문이다. 직류전원의 경우 전원장치들의 출력간 전위차로 인해 전위가 높은 출력단에 부하가 편중되는 현상이 발생한다.

본 논문에서는 실제로 다중 병렬 구조의 전원장치간 출력 전위가 다른 조건하에 어떠한 요소에 의해 부하분담이 이루어지는지 규정하고 이를 수치적으로 예측하여 접근하는 방법에 대해 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 'n' 개의 독립전원을 가진 철도차량 직류계통의 전기적 모델링

2.1.1 'n' 개의 독립직류전원 병렬 운용

철도차량 내 직류계통의 전기적 모델링은 Fig. 1 에서 보여지는 바와 같다. 독립직류전원 (V_n)이 'n' 개소 존재하며, 각 독립직류전원의 전압은 모선으로 인가되고 있다. 모선을 구성

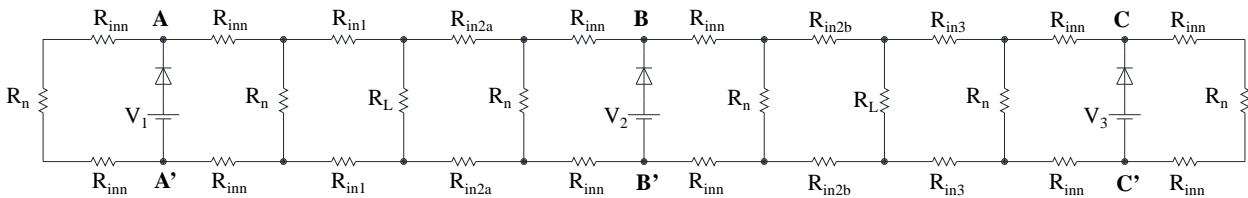


Fig. 1 n개의 독립직류전원을 병렬 운용하는 철도차량의 직류계통

V_1, V_2, V_3 : 독립직류전원

R_{in} : 모선 도체저항

R_{inn} : 등위 도체저항

R_n : 등위부하

R_L : 분담부하

하는 도선에는 내부의 도체저항(R_{in})이 존재하며 도체저항 특성에 의거 저항의 크기는 도체의 길이에 비례한다. 각 독립직류전원은 blocking diode를 적용하므로 상호 부하로 작용하지 않는다. 각각의 전원 단 A-A', B-B', C-C'의 조건은 구분 지을 변수를 포함하지 않으므로 이상적으로 동일하다고 간주한다.

2.1.2 직류계통의 중첩의 원리

철도차량의 직류계통 회로는 중첩의 원리를 적용 단순화하여 해석할 수 있다. 계통 내에서 하나의 전압원을 남겨두고 나머지 전압원들은 전위가 0V인 상태로 가정하여 등가회로로 단순화하고 합성저항(R_{Vn})을 정의할 수 있다.

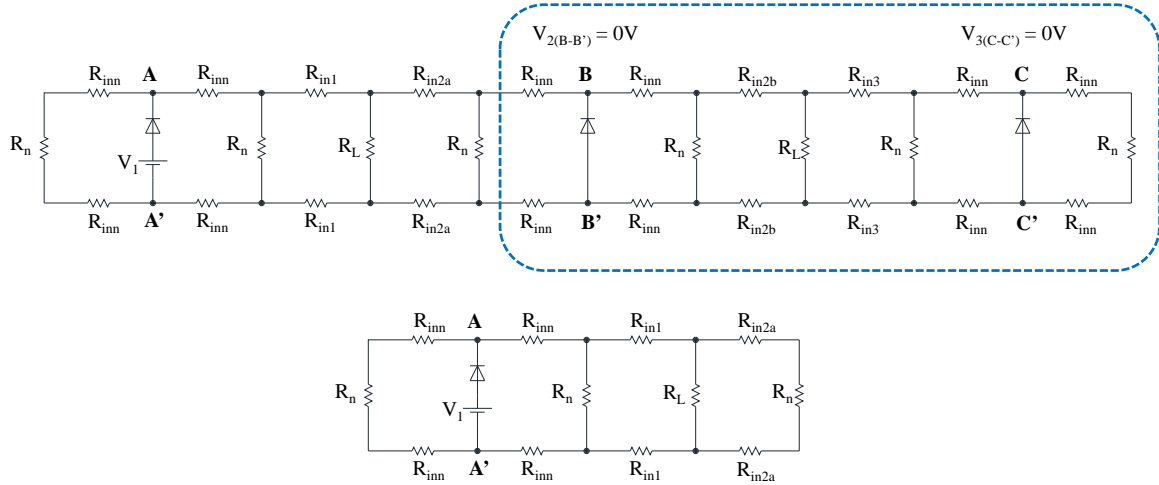


Fig. 2 $V_{2(B-B')}$ 와 $V_{3(C-C')}$ 전압원을 단락시킨 회로

$$R_{V1} = \frac{(2R_{inn} + R_n)(2R_{inn} + A)}{(2R_{inn} + R_n) + (2R_{inn} + A)}, \quad A = \frac{R_n \left[2R_{in1} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in2a} + R_n)}{R_L + (2R_{in2a} + R_n)} \right\} \right]}{R_n + \left[2R_{in1} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in2a} + R_n)}{R_L + (2R_{in2a} + R_n)} \right\} \right]} \quad (1)$$

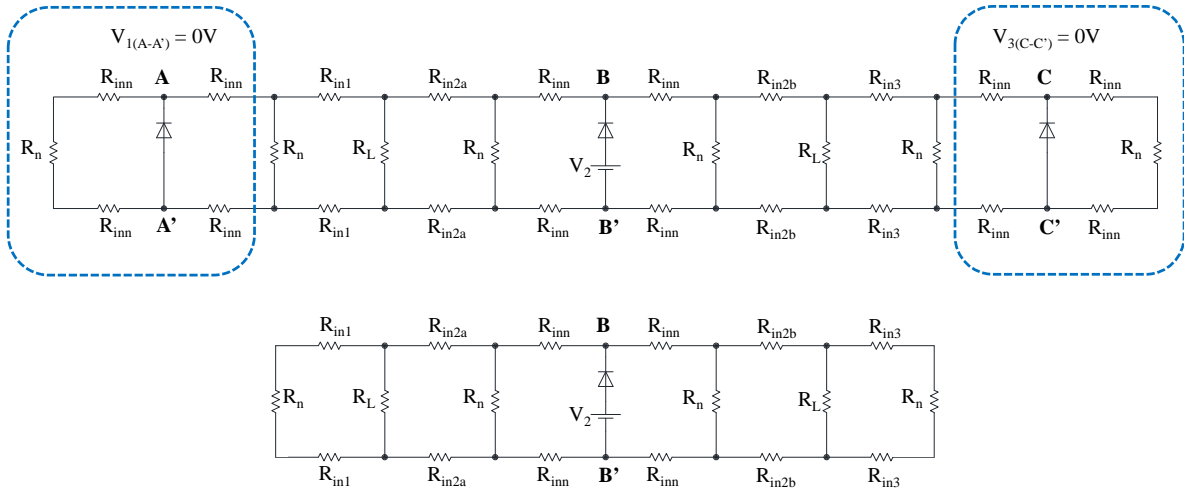


Fig. 3 $V_{1(A-A')}$ 와 $V_{3(C-C')}$ 전압원을 단락시킨 회로

$$R_{V2} = \frac{(2R_{inn} + B)(2R_{inn} + C)}{(2R_{inn} + B) + (2R_{inn} + C)}, \quad B = \frac{R_n \left[2R_{in2b} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in3} + R_n)}{R_L + (2R_{in3} + R_n)} \right\} \right]}{R_n + \left[2R_{in2b} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in3} + R_n)}{R_L + (2R_{in3} + R_n)} \right\} \right]}, \quad C = \frac{R_n \left[2R_{in2a} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in1} + R_n)}{R_L + (2R_{in1} + R_n)} \right\} \right]}{R_n + \left[2R_{in2a} + \left\{ \frac{R_L(2R_{in1} + R_n)}{R_L + (2R_{in1} + R_n)} \right\} \right]} \quad (2)$$

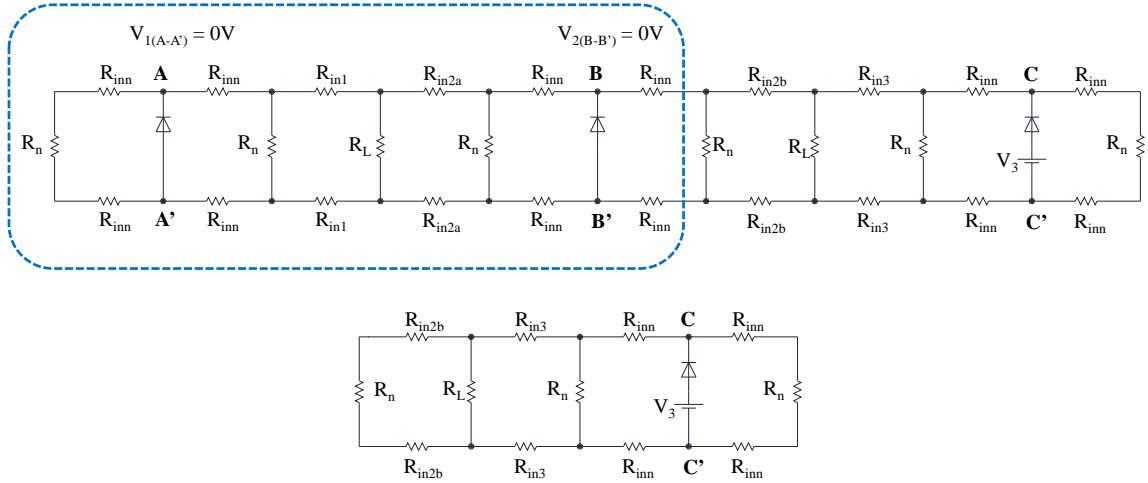


Fig. 4 $V_{1(A-A')}$ 와 $V_{2(B-B')}$ 전압원을 단락시킨 회로

$$R_{V_3} = \frac{(2R_{inn} + R_n)(2R_{inn} + D)}{(2R_{inn} + R_n) + (2R_{inn} + D)}, \quad D = \frac{R_n \left[2R_{in3} + \frac{R_L(2R_{in2b} + R_n)}{R_L + (2R_{in2b} + R_n)} \right]}{R_n + \left[2R_{in3} + \frac{R_L(2R_{in2b} + R_n)}{R_L + (2R_{in2b} + R_n)} \right]} \quad (3)$$

2.2 모선의 길이와 부하 분담의 관계

2.2.1 각 독립 직류전원의 이상적인 부하 분담

이상적인 부하분담은 부하편중이 없는 것을 의미한다. 각 독립전원의 조건이 동등하고 모선의 도체저항(R_{in})이 동일한 경우 가능하다. 등위부하(R_{inn} , R_n)는 각 전원단에서 공통의 조건이므로 부하분담에 영향이 없고, 분담부하(R_L)도 관여하는 전원들에 대해 동등하게 공유되는 조건이므로 분담부하(R_L)의 세분화 하는 것은 불필요하다.

2.2.2 부하분담률에 영향을 미치는 조건

부하분담에 영향을 미치는 요소는 Fig. 5에 보여지듯이 모선 내 도체저항(R_{in})이다. 도체저항(R_{in})에 의해 전압강하가 발생하므로 도체저항(R_{in})이 작은 지로 측 분담비율이 높아지게 된다.

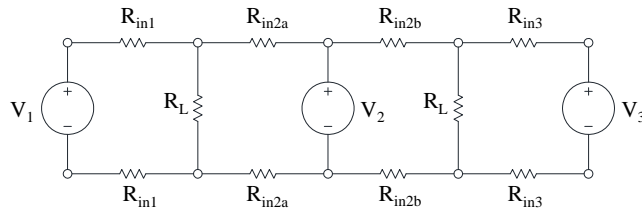


Fig. 5 부하분담 등가회로

$$\text{부하분담률} \propto \frac{1}{R_{in}} \quad (4)$$

($R_{in} \propto$ 도체의 길이 0)

2.2.3 각 독립전원 단의 부하 분담률 계산

도체저항(R_{in})의 값에 의존하여 각 독립전원의 부하분담 비율이 바뀐다. 따라서, 부하분담 비율을 계산하기 위해 도체저항(R_{in})의 크기를 알아야 한다. 이 경우 극히 작은 값인 도체저항(R_{in})을 실측하는 것 보다는 ‘식(4)’에서 보여지는 도체저항의 특성을 이용해 직관적으로 파악 가능한 모선의 도체 길이를 대입하는 것이 좀더 효율적인 방법이다. 실제로 도체저항(R_{in})의 값은 실용단위에서 구분하기에는 극히 작은 값이므로 무시하는 것이 일반적이다. 각 전압원(V_n)과 분담부하(R_L)는 고정 상수로 본다.

$$i_{V1} = \frac{V_1}{\left\{ \frac{(2R_{in1} + R_L) \cdot 2R_{in2a}}{(2R_{in1} + R_L) + 2R_{in2a}} \right\}} \quad (5)$$

$$i_{V2} = \frac{V_2}{\frac{R_{V1} \cdot R_{V3}}{R_{V1} + R_{V3}}} = \frac{V_2}{\left[\frac{\left\{ \frac{(2R_{in2a} + R_L) \cdot 2R_{in1}}{(2R_{in2a} + R_L) + 2R_{in1}} \right\} \left\{ \frac{(2R_{in2b} + R_L) \cdot 2R_{in3}}{(2R_{in2ab} + R_L) + 2R_{in3}} \right\}}{\left\{ \frac{(2R_{in2a} + R_L) \cdot 2R_{in1}}{(2R_{in2a} + R_L) + 2R_{in1}} \right\} + \left\{ \frac{(2R_{in2b} + R_L) \cdot 2R_{in3}}{(2R_{in2ab} + R_L) + 2R_{in3}} \right\}} \right]} \quad (6)$$

$$i_{V3} = \frac{V_3}{\left\{ \frac{(2R_{in3} + R_L) \cdot 2R_{in2b}}{(2R_{in3} + R_L) + 2R_{in2b}} \right\}} \quad (7)$$

$$I_{V1} = i_{V1} - i_{V2Rin1} \quad (8)$$

$$I_{V2} = (i_{V2Rin2a} - i_{V1Rin2a}) + (i_{V2Rin2b} - i_{V3Rin2b}) \quad (9)$$

$$I_{V3} = i_{V3} - i_{V2Rin3} \quad (10)$$

3. 결론

철도차량의 직류계통에서 다중 독립전원의 부하분담은 각 독립전원 간 전위차에 의존하는 것이 자명하고 또한 전원으로부터 부하 간 연결되는 모선의 상대적인 도체길이에도 의존한다.

다중전원 체계에서 분담부하(R_L)는 각 전원이 공유하는 동등한 조건이므로 전원으로부터 분담부하(R_L)로 연결하는 모선의 첫 번째 지로에만 상대적인 조건이 존재하고 첫 번째 지로를 지난 후 상호 공유하는 영역의 도체길이는 동일한 조건이므로 구분할 의미가 없어진다.

따라서, 각 전원으로부터 첫 번째 지로의 도체길이를 파악하는 것이 부하분담률을 수치적으로 예측함에 있어 중요한 요소이고, 각 전원단으로부터 첫 번째 지로의 상대적인 도체길이 비율이 부하분담률과 밀접한 관계가 있다는 결론을 도출하였다.

참고문헌

- [1] William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin (2013) *Engineering Circuit Analysis*, 8th Edition, *Mc Graw Hill Higher Education*, New York, USA.
- [2] 이창식, 이대식, 최병재 (2003) 쉽게 쓴 직류 회로이론, 노벨미디어, 서울특별시 종로구 행촌동 27-4, pp. 19-72.
- [3] 공병욱 (2004) 기초회로실험, 연학사, 서울특별시 성동구 홍익동 271, pp. 181-200.
- [4] 이준웅, 김용주 (1998) 전기.전자재료, 동일출판사, 서울특별시 중구 충무로5가 19-3, pp. 185-212.
- [5] Tyler, D. W. (1987) *Electrical applications 2 checkbook*, *William Heinemann Ltd*, 10 Upper Grosvenor Street, London, pp. 442-443.