

느린 계단임펄스에 의한 임펄스형성선의 과도과정에 대한 연구

리영명, 정원철

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학자, 기술자들은 자기 땅에 발을 붙이고 눈은 세계를 보는 혁신적인 안목을 가지고 두뇌전, 실력전을 벌려 최첨단체신기술과 수단들을 더 많이 연구개발하여야 합니다.》

통신분야의 첨단기술인 초광대역통신과 초광대역전파탐지를 실현하는데서 초광대역임펄스형성선에 대한 연구는 중요한 의의를 가진다.

선행연구들[1-3]에서는 느린 계단임펄스에 의한 형성선의 과도과정에 대한 문제를 밝히지 못하였다. 여기로부터 논문에서는 느린 계단임펄스에 의한 임펄스형성선의 과도과정을 고찰하였다.

그림 1에 계단함수입력이 작용하는 이상전송선을 보여주었다.

현실적으로 형성선에 입력되는 계단함수신호는 일정한 오름시간을 가지며 대부분의 경우 오름시간은 전송선의 지연시간과 비슷하거나 훨씬 길다.

그런 경우 출력파형은 입력되는 계단함수신호의 오름시간의 영향을 받는다.(그림 2)

이제 입력전압이 그림 2의 1)와 같이 선형오름시간을 가진 계단임펄스라고 하자.

이때 오름시간을 제외하고 기타 다른 시간구간에서는 빠른 계단임펄스입력의 경우와 같은 방법에 따라 전압관계를 취급할수 있다.

먼저 전송선이 부하쪽에서만 정합되지 않은 경우를 보자. ($R_{\text{부}} < Z_0$) 이때 각이한 오름시간에 대하여 전송선의 입출구에서의 전압파형은 그림 2의 1) - 2)와 같이 된다.

그림 2에서 보는바와 같이 $t_r \leq 2T_0$ 일 때 파형은 령오름시간의 계단임펄스가 입력되는 경우와 비슷하게 취급할수 있지만 $t_r > 2T_0$ 일 때 파형은 복잡해진다.

그리고 전송선의 양쪽 끝이 다 정합되지 않은 경우에는 전송선에서 다중반사가 생기며 파형은 훨씬 더 복잡해진다.

이때에도 역시 $t_r \leq 2T_0$ 일 때 파형은 령오름시간의 계단임펄스가 입력되는 경우와 비슷하게 취급할수 있으므로 설명을 반복하지 않고 $t_r > 2T_0$ 인 경우만 보자.

우리가 관심하는것은 임펄스형성선을 구성하고있는 방전구스위치가 닫기기 전의 상태이므로 출구가 개방된 즉 $R_{\text{부}} = \infty$ 인 상태 실례로 $t_r = 4T_0$, $R_{\text{원}} = 2Z_0$, $R_{\text{부}} = \infty$ 인 경우를 보자. 이때 $\Gamma_{\text{입}} = 1/3$, $\Gamma_{\text{부}} = 1$, $V_{\text{초입}} = V_{\text{원}}/3$ 이며 입구 및 출구에서의 전체 전압은 다중반사파전압

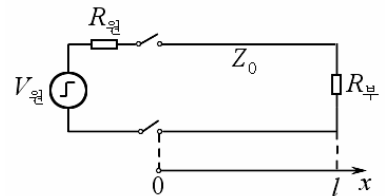


그림 1. 이상전송선

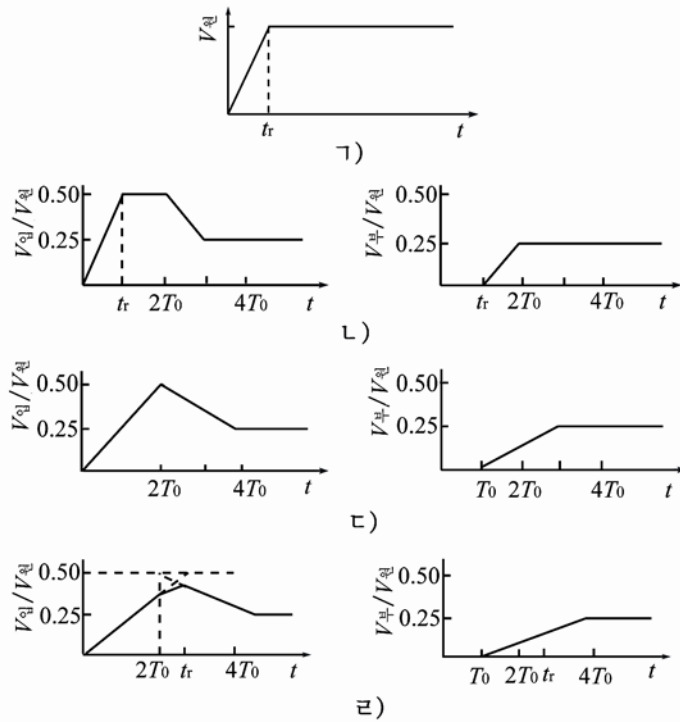


그림 2. 계단임펄스가 입력될 때 리상전송선의 응답($R_{\text{원}} = Z_0$, $R_{\text{부}} = Z_0/3$)

ㄱ) 계단임펄스입력신호, ㄴ) $t_r = T_0$ 일 때, ㄷ) $t_r = 2T_0$ 일 때, ㄸ) $t_r = 3T_0$ 일 때

들을 합한것과 같다.

입구에서 첫 입사 및 반사전압의 합은

$$V_{\text{입}1} = \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} = 4V_{\text{원}}/9$$

이다. 그리고 입구에서의 반사전압 $\Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}}$ 은 부하에서 다시 반사되어 입구에 돌아오며 이에 의한 입사 및 반사전압의 합은

$$V_{\text{입}2} = \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} = 4V_{\text{원}}/27$$

이다. 그 다음번에 입사 및 반사전압의 합은

$$V_{\text{입}3} = \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} = 4V_{\text{원}}/81$$

이다. 끝으로 세번째 반사까지 고려한 입구에서의 전체 전압은

$$V_{\text{입}} = V_{\text{초입}} + V_{\text{입}1} + V_{\text{입}2} + V_{\text{입}3} = V_{\text{초입}}(1 + \Gamma_{\text{부}} + \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 + \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^3) = 79V_{\text{원}}/81$$

로 되며 충분히 긴 시간후에 $V_{\text{입}} = V_{\text{원}}$ 으로 된다.

한편 출구에 나타나는 첫 반사전압은

$$V_{\text{출}1} = \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} = V_{\text{원}}/3$$

이다. 이것이 입구에서 다시 반사되어 출구에서의 입사파로 작용하며 여기서 다시 반사된다. 이때의 입사 및 반사전압의 합은

$$V_{\text{출}2} = \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} = 2V_{\text{원}}/9$$

이며 그 다음번에 입사 및 반사전압의 합은

$$V_{\text{출}3} = \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} = 2V_{\text{원}}/27$$

이다.

마지막으로 세번째 반사까지 고려한 출구단에서의 전체 전압은

$$\begin{aligned} V_{\text{출}} &\approx V_{\text{초입}} + V_{\text{출}1} + V_{\text{출}2} + V_{\text{출}3} = V_{\text{초입}} (1 + \Gamma_{\text{부}} + \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 \\ &\quad + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3) = 26V_{\text{원}}/27 = 78V_{\text{원}}/81 \end{aligned}$$

로 되며 충분히 긴 시간후에 $V_{\text{출}} = V_{\text{원}}$ 으로 된다.

이렇게 얻어지는 입출구단에서의 여러 반사파형과 세번째 반사까지 고려한 입출구단에서의 전체 전압파형은 그림 3과 같다.

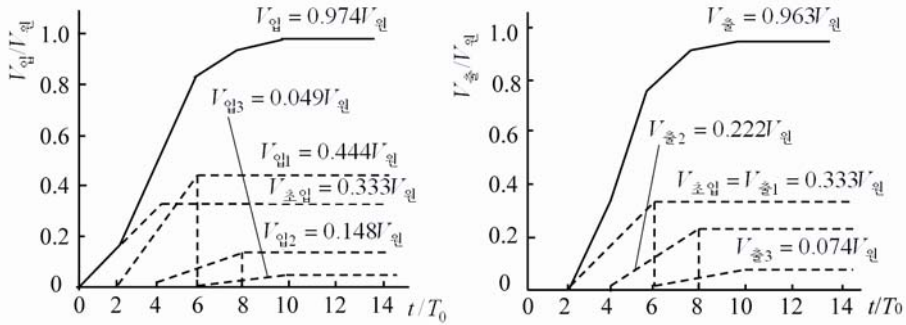


그림 3. $t_r > 2T_0$ 인 경우 전송선의 응답($t_r = 4T_0$, $R_{\text{원}} = 2Z_0$, $R_{\text{부}} = \infty$)

다음 $t_r = 4T_0$, $R_{\text{원}} = Z_0/3$, $R_{\text{부}} = \infty$ 인 경우를 보자.

이때 $\Gamma_{\text{입}} = -1/2$, $\Gamma_{\text{부}} = 1$, $V_{\text{초입}} = 3V_{\text{원}}/4$ 이며 입출구에서의 전체 전압은 다중반사파전압들의 합을 더한것과 같다.

우와 같은 방법으로 취급하면 입구에서는

$$\begin{aligned} V_{\text{입}1} &= \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} = 3V_{\text{원}}/8 \\ V_{\text{입}2} &= \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} = -3V_{\text{원}}/16 \\ V_{\text{입}3} &= \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} = 3V_{\text{원}}/32 \\ V_{\text{입}4} &= \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^4 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^4 \Gamma_{\text{부}}^4 V_{\text{초입}} = -3V_{\text{원}}/64 \end{aligned}$$

이고 네번째 반사까지 입구단에서의 전체 전압은

$$V_{\text{입}} \approx V_{\text{초입}} + V_{\text{입}1} + V_{\text{입}2} + V_{\text{입}3} + V_{\text{입}4} = 63V_{\text{원}}/64$$

으로 되며 충분히 긴 시간후에 $V_{\text{입}} = V_{\text{원}}$ 으로 된다.

한편 출구에서는

$$\begin{aligned} V_{\text{출}1} &= \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} = 3V_{\text{원}}/4 \\ V_{\text{출}2} &= \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} = -3V_{\text{원}}/4 \\ V_{\text{출}3} &= \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} = 3V_{\text{원}}/8 \\ V_{\text{출}4} &= \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}} + \Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^4 V_{\text{초입}} = -3V_{\text{원}}/16 \end{aligned}$$

이고 네번째 반사까지 출구단에서의 전체 전압은

$$V_{\text{출}} \approx V_{\text{초입}} + V_{\text{출1}} + V_{\text{출2}} + V_{\text{출3}} + V_{\text{출4}} = 15V_{\text{원}}/16 = 60V_{\text{원}}/64$$

로 되며 충분히 긴 시간후에 $V_{\text{출}} = V_{\text{원}}$ 으로 된다.

이렇게 얻어지는 입출구단에서의 여러 반사파형과 네번째 반사까지 고려한 경우에 입출구단에서의 전체 전압파형은 그림 4와 같다.

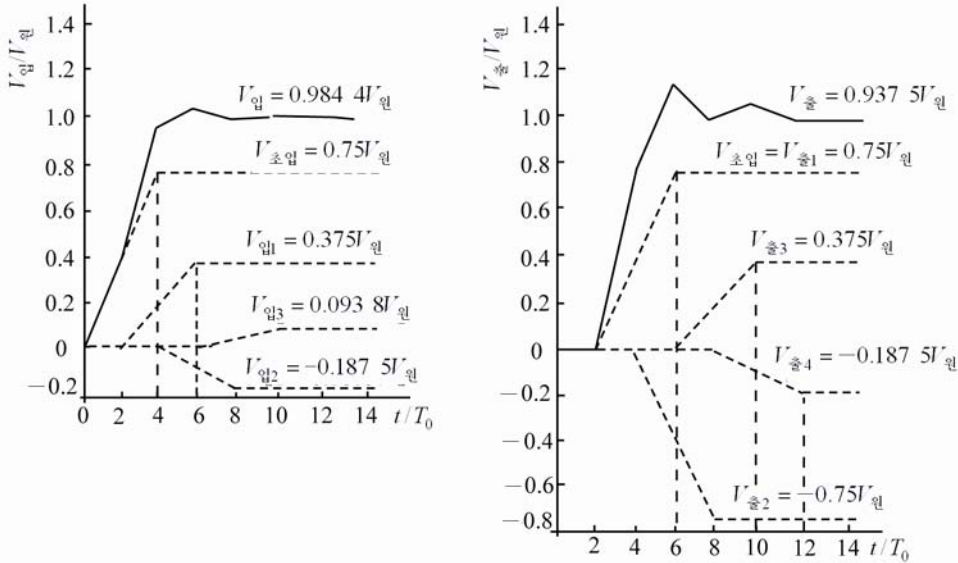


그림 4. $t_r > 2T_0$ 인 경우 전송선의 응답($t_r = 4T_0$, $R_{\text{원}} = Z_0/3$, $R_{\text{부}} = \infty$)

이 결과로부터 다음과 같은 사실들을 알수 있다.

$t_r > 2T_0$ 일 때 선의 입출구단에서 전체 전압의 파형은 입출구에서의 반사의 영향으로 복잡해지지만 그러나 충분히 긴 시간후에는 전체 선에 따르는 전압이 안정값 $V_{\text{원}}$ 에 다가간다.

그리고 임펄스형성선의 과도과정에서 항상 입구단에서의 전압이 출구단에서의 전압보다 먼저 커진다.

또한 입구가 정합되거나 원천저항이 전송선의 특성저항보다 작을 때 출력전압은 첫 순간에 최대가 되지만 원천저항이 전송선의 특성저항보다 클 때에는 출력전압이 점차적으로 커지면서 일정한 시간지연후에야 최대값 $V_{\text{원}}$ 에 도달하는데 원천저항이 클수록 출력전압이 커지는 시간은 더 떠진다.

연구결과로부터 임펄스형성선을 설계하는데서 다음과 같은 문제들을 고려하여야 한다.

① 임펄스형성선은 입구가 정합되거나 원천저항이 임펄스형성선을 이루는 전송선의 특성저항보다 작아지도록 설계하여야 한다.

그래야 출력전압이 첫 순간에 최대가 되어 방전구의 절연파괴전압을 최대로 설정하여도 반복주파수가 떨어지지 않으며 전압리용률을 높일수 있다.

② 원천저항이 임펄스형성선을 이루는 전송선의 특성저항보다 커질 때에는 출구전압이 커지는 속도를 고려하여 방전구의 절연파괴전압을 낮게 설정하여야 한다.

그렇지 않으면 반복주파수가 떨어지는 현상이 나타나게 된다. 이때 전압리용률은 떨어지게 된다.

③ 입구단에서의 전압이 먼저 커진다는 사실을 고려하여 방전구의 절연파괴전압을 높 이 설정하는 경우 입구에서 절연이 파괴되지 않도록 입구단자들사이의 거리를 충분히 보 장하거나 입구단자들사이에 절연재료를 삽입하는 등 대책을 세워야 한다. 그렇지 않으면 방 전구가 도통되기 전에 입구에서 절연이 파괴되어 임펄스형성선이 자기의 역할을 할수 없 게 된다.

임펄스형성선에서는 초기전압의 절반에 대응되는 전압진폭과 임펄스형성선에서의 왕 복시간에 대응되는 지속시간을 가진 임펄스를 발생시킬수 있다.

맺 는 말

느린 계단임펄스에 의한 임펄스형성선의 초기과도과정을 이론적으로 연구하여 임펄스 형성선설계에서 제기되는 문제들을 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] I. Ya. Immoreev; Journal of Communications Technology and Electronics, **54**, 1, 1, 2009.
- [2] Laurent Pecastaing et al.; IEEE Transactions on Plasma Science, **34**, 5, 1822, 2006.
- [3] 潘亚峰 等; 强激光与粒子束, **7**, 1224, 2006.

주체105(2016)년 4월 5일 원고접수

Investigation of the Transient Charging of Pulse Forming Line by Slow Step Pulse

Ri Yong Myong, Jong Won Chol

We studied theoretically the early transient process of pulse forming line by slow step pulse input voltage and discussed the problem in pulse forming line design.

Key words: pulse forming line, slow step pulse